11TH INTERNATIONAL AEGEAN CONGRESS ON INNOVATION TECHNOLOGIES & ENGINEERING

APRIL 4-6, 2025
IZMIR, TÜRKIYE

PROCEEDINGS BOOK

INTERNATIONAL AEGEAN CONFERENCES

ON INNOVATION TECHNOLOGIES & ENGINEERING-XI

April 04-06, 2025 / Izmir, Türkiye

PROCEEDINGS BOOK

EDITORS

Assoc. Prof. Dr. Mehmet Emin KALGI
Prof. Dr. Jean Vasile ANDREI

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 2025

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

Issued: 21.04.2025

ISBN: 979-8-89695-060-8

CONFERENCE ID

CONFERENCE TITLE

INTERNATIONAL AEGEAN CONFERENCES
on Innovation Technologies & Engineering

DATE and PLACE

April 04-06, 2025 / Izmir, Türkiye

ORGANIZATION

IKSAD- INSTITUTE OF ECONOMIC DEVLOPMENT AND SOCIAL RESEARCHES
ATLAS INTERNATIONAL JOURNAL ON SOCIAL SCIENCES ISSN - 2616 - 936X

ORGANIZING COMMITTEE

Assoc. Prof. Dr. Mehmet Emin KALGI
Head of Conference
Prof. Dr. Salih ÖZTÜRK
Head of Scientific Committee
Prof. Dr. Natalia LATIGINA
Member of Organizing Committee
Prof. Dr. Akbar VALADBIGI
Member of Organizing Committee
Prof. Dr. Gülzar IBRAGIMOVA
Member of Organizing Committee
Prof. Dr. Ökkeş KESİCİ
Member of Organizing Committee
Prof. Dr. Osman BAYRAKTUTAN
Member of Organizing Committee
Prof. Dr. Mustafa YILDIZ
Member of Organizing Committee
Prof. Dr. Abdullah MOHAMMADİ
Member of Organizing Committee
Assist. Prof. Dr. Sinan ÖZYURT
Member of Organizing Committee
Dr. Muhammad Shoaib KHAN PATHAN
Member of Organizing Committee
Dr. Elvan CAFEROV
Member of Organizing Committee
Lect. Ahmet ALINCA
Member of Organizing Committee
Samiksha JAIN
Member of Organizing Committee

NUMBER of ACCEPTED PAPERS- 97

NUMBER of REJECTED PAPERS- 37

PARTICIPANTS' COUNTRIES

Türkiye (47), India (13), Azerbaijan (1), Kosovo (2), Albania (4), Malaysia (1), Morocco (1), Nigeria (7), Tunisian (2), Pakistan (5), Ethiopia (3), Bangladesh (1), Morocco (4), Algeria (4), Iraq (1), Angola (1).

**Double blinded evaluation process*

SCIENTIFIC COMMITTEE BOARD

Dr. Maha Hamdan ALANAZI - *Riyad King Abdullah University*
Dr. Tamalika SULTANA - *Dakka University of Bangladesh*
Dr. Kenes JUSIPOV - *Kazak Transportation Academy*
Dr. Nilgün ULUTASDEMİR - *Gumushane University*
Dr. Murat EYVAZ - *Gebze Technical University*
Dr. Menekşe ŞAKİR - *Erciyes University*
Dr. Mehmet GÖKTÜRK - *Gebze Yüksek Teknoloji institute*
Dr. Sezen TEKİN - *Çankırı Karatekin University*
Dr. Hakan EYGÜ - *Atatürk University*
Dr. G. C. Rana - *NSCBM Govt. College Hamirpur*
Dr. Mohamed El Malki - *Department of Physics*
Dr. H. Burçin HENDEN ŞOLT - *Zonguldak Bülent Ecevit University*
Dr. Fatih YILDIRIM - *Atatürk University*
Dr. F. Gül KOÇSOY - *Fırat University*
Dr. Praveen KUMAR - *HR & OB Division*
Dr. Norma-Aurea Rangel-Vázquez - *TECNM/Instituto Tecnológico de Aguascalientes*
Dr. Yeşim TARHAN- *Ardahan University*

INTERNATIONAL AEGEAN CONFERENCES
Innovation Technologies & Engineering-XI

April 4-6, 2025
IZMIR, TÜRKİYE

CONFERENCES PROGRAM

Türkiye (47), India (13), Azerbaijan (1), Kosovo (2), Albania (4), Malaysia (1), Morocco (1), Nigeria (7), Tunisian (2), Pakistan (5), Ethiopia (3), Bangladesh (1), Morocco (4), Algeria (4), Iraq (1), Angola (1).

Online (with ZOOM Conference)
Meeting ID: 844 6001 0824
Passcode: 040506
https://us02web.zoom.us/j/84460010824?pwd=ClavJOF6LzbYE1OMmrl81UxP82rNlw.1

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.

Önemli, Dikkatle Okuyunuz Lütfen

- Kongremizde Yazım Kurallarına uygun gönderilmiş ve bilim kurulundan geçen bildiriler için online (video konferans sistemi üzerinden) sunum imkanı sağlanmıştır.
- Online sunum yapabilmek için **https://zoom.us/join** sitesi üzerinden giriş yaparak "Meeting ID or Personal Link Name" yerine ID numarasını girerek oturuma katılabilirsiniz.
- Zoom uygulaması ücretsizdir ve hesap oluşturmaya gerek yoktur.
- Zoom uygulaması kaydolmadan kullanılabilir.
- Uygulama tablet, telefon ve PC'lerde çalışıyor.
- Her oturumdaki sunucular, sunum saatinden 5 dk öncesinde oturuma bağlanmış olmaları gerekmektedir.
- Tüm kongre katılımcıları canlı bağlanarak tüm oturumları dinleyebilir.
- Moderatör – oturumdaki sunum ve bilimsel tartışma (soru-cevap) kısmından sorumludur.

Dikkat Edilmesi Gerekenler- TEKNİK BİLGİLER

- Bilgisayarınızda mikrofon olduğuna ve çalıştığına emin olun.
- Zoom'da ekran paylaşma özelliğine kullanabilmelisiniz.
- Kabul edilen bildiri sahiplerinin mail adreslerine Zoom uygulamasında oluşturduğumuz oturuma ait ID numarası gönderilecektir.
- Katılım belgeleri kongre sonunda tarafınıza pdf olarak gönderilecektir
- Kongre programında yer ve saat değişikliği gibi talepler dikkate alınmayacaktır

---

Before you login to Zoom please indicate your name_surname and HALL number:

exp. Hall-1, Name SURNAME

DATE
- 04.04.2025

TIME
- 10^{00}–12^{00}

SESSION
- HALL-4
- SESSION-1

HEAD OF SESSION: Dr. Hakan ALYÜRÜK		
Assist. Prof. Dr. Nil YAPICI Assoc. Prof. Dr. Nusret NURLU Hande SONSUN	Çukurova University (TÜRKİYE)	NEPHELINE AS AN ALTERNATIVE RAW MATERIAL
Ülkü YARAN Assoc. Prof. Dr. Yasemen KALPAKLI	Yıldız Technical University (TÜRKİYE)	COMPARISON OF LIFE CYCLE ASSESMENT OF FLEXIBLE PACKAGING TYPES AND REVIEW OF SECTORAL SUSTAINABILITY ACTIONS
Dr. İnci KARAKAŞ	Uskudar University (TÜRKİYE)	TREATMENT OF PAPER INDUSTRY WASTEWATER BY COAGULATION-FLOCCULATION PROCESS
Berat BAYRAMOĞLU Salim ASLANLAR	Sakarya University of Applied Science (TÜRKİYE)	COMPARISON AND INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF FRICTION STIR WELDING ON 6005 AND 6005A ALUMINUM ALLOYS
Dr. Hakan ALYÜRÜK	Dokuz Eylül University (TÜRKİYE)	CHARACTERIZATION OF A MICRO-REACTOR BY RESIDENCE AND MICROMIXING TIME TESTS TO USE IN A DERIVATIZATION REACTION
Mehmet DEMİR Nilgül ÇETİN Nasır NARLIOĞLU	İzmir Katip Çelebi University (TÜRKİYE)	ANALYSIS OF CHEMICAL COMPOSITIONS OF LIGNOCELLULOSIC FIBRES DERIVED FROM WASTE WOODEN PALLETS
Serdar Kaan HORTOOĞLU Onur AKKAŞ Sedat TARAKÇI Efe IŞIK	Tirsan Kardan Inc. (TÜRKİYE)	INVESTIGATION OF CIRCLIP ASSEMBLY AND DISASSEMBLY FORCES BY EXPERIMENTAL AND FEA METHODS
Assist. Prof. Dr. Rifat YAKUT Ömer ÇİFTÇİ	Batman University (TÜRKİYE)	EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE WEAR BEHAVIOR OF TiB2 REINFORCED GRAY CAST IRON
Begüm DERELİ Dr. Öznur DÜLGER KUTLU Assoc. Prof. Dr. Yasemen KALPAKLI	Yıldız Technical University (TÜRKİYE)	EFFECT OF AMBIENT pH CHANGE IN COMPARATIVE STUDY OF ULTRASOUND RADIATION AND CONVENTIONAL TREATMENT METHODS OF METHYLENE BLUE FROM AQUEOUS SOLUTIONS: EFFECT OF REACTIVE OXYGEN SPECIES ON ADSORBENT EFFICIENCY
Assoc. Prof. Dr. Harun KARCI	Çukurova University (TÜRKİYE)	OcBSA and QTL-SEQ BULK SEGREGANT ANALYSIS IN PISTACHIO
Assoc. Prof. Dr. Harun KARCI	Çukurova University (TÜRKİYE)	ANNOVARGUI: A USER-FRIENDLY INTERFACE FOR GENOME ANNOTATION

DATE
- 04.04.2025

TIME
- 12^{30}–14^{30}

SESSION
- HALL-4
- SESSION-2

HEAD OF SESSION: Assist. Prof. Dr. Müfide NARLI		
Feyza Hilal SAĞLAM	Sakarya University (TÜRKİYE)	IDENTIFICATION AND PERFORMANCE ANALYSIS OF VARIOUS COATING METHODS TO ENHANCE THE MATING PERFORMANCE OF STEEL MATERIALS IN GEAR SYSTEMS
Demet MUTLU BALCI Assoc. Prof. Dr. Pınar TERZİOĞLU	Bursa Technical University (TÜRKİYE)	IMPROVEMENT OF PAINT ADHESION OF POLYPROPYLENE MATERIAL WITH INCORPORATION OF UV ADDITIVE
Mehmet Metehan TOPDEMİR Prof. Dr. Osman BİCAN	Kırıkkale University (TÜRKİYE)	MECHANICAL PERFORMANCE ANALYSIS AND THEORETICAL COMPARISON OF ISOGRID DESIGN IN TOPOLOGICAL OPTIMIZATION OF ALUMINUM STRUCTURES
Oğuzhan CARUS Assist. Prof. Dr. Gülcan ÖZEL EROL Assoc. Prof. Dr. Musa ÖZKAN	Bilecik Şeyh Edebali University (TÜRKİYE)	POWER GENERATION OPTIMIZATION IN TANDEM-ARRANGED WIND TURBINES: A TAGUCHI DESIGN APPROACH
Gültekin SÜLEYMANOVA	Information Technologies and Management (AZERBAIJAN)	IMPROVING THE QUALITY OF MULTI-DIMENSIONAL X-RAY IMAGES
Assist. Prof. Dr. Müfide NARLI Sefkan Yılmaz KARAMAN	Çukurova University (TÜRKİYE)	THE RELATIONSHIP BETWEEN COUNTRIES' ELECTRICITY CONSUMPTION AND ECONOMIC GROWTH: AN ANALYSIS WITHIN THE FRAMEWORK OF SUSTAINABILITY
Büşra Bozyer Prof. Dr. Züleyha Değirmenci Cansu Batcık	Gaziantep University (TÜRKİYE) Gaziantep University (TÜRKİYE) Gazi University (TÜRKİYE)	YARN PRODUCTION FROM SEAWEED BASED FIBERS: A STEP TOWARDS SUSTAINABLE TEXTILES
Fatih Şen Reyhan Yıldırım Badurluoğlu Kemal Atay Fatih Çalışkan	Çanakcılar Ceramic Industry and Trade Inc. (TÜRKİYE) Sakarya University of Applied Sciences (TÜRKİYE)	THE EFFECT OF RELIEF APPLICATION ON SURFACE DEFECT REDUCTION AND THE PRODUCTION PROCESS IN CERAMIC SANITARY WARE
İrem ALTINOK Prof. Dr. Fatih ÇALIŞKAN	R&D Center (TÜRKİYE) Sakarya University of Applied Sciences (TÜRKİYE)	STABILITY OF PIGMENTS USED IN COLOURED GLAZES DURING FIRST AND SECOND FIRING

DATE
- 04.04.2025

TIME
- 15^{00}–17^{00}

SESSION
- HALL-4
- SESSION-3

HEAD OF SESSION: Altin GJEVORI		
Arbër Zeqiraj Altin Gjevori Artan Llozana Naim Syla Fisnik Aliaj	University "Isa Boletini" Mitrovica (KOSOVO) Polytechnic University of Tirana (ALBANIA) University of Pristina "Hasan Prishtina" (KOSOVO)	EXPERIMENTAL MEASUREMENT AND MODELING OF THE REFRACTIVE INDEX FOR THE TERNARY MIXTURE PROPAN-1-OL + CYCLOHEXANE + BENZENE AT 298.15 K AND ATMOSPHERIC PRESSURE
Altin GJEVORI Arbër ZEQIRAJ Artan LLOZANA Naim SYLA Fisnik ALIAJ	Polytechnic University of Tirana (ALBANIA) University "Isa Boletini" Mitrovica (KOSOVO) University of Pristina "Hasan Prishtina" (KOSOVO)	APPLICATION OF REFRACTIVE INDICES MIXING RULES IN BINARY SYSTEMS OF 1 - BUTANOL, T - BUTANOL WITH TOLUENE, ETHYLBENZENE, AND ISOBUTANOL + TOLUENE AT A TEMPERATURE OF 303.15 K UNDER ATMOSPHERIC PRESSURE
Miranda HALILI Assoc. Prof. Dr. Valbona MUDA Assoc. Prof. Dr. Driada MITRUSHI Fjorela VERAJ	'Ismail Qemali', Vlora, University (ALBANIA) Polytechnic University of Tirana (ALBANIA)	ASSESSING WIND POWER DENSITY IN SEMAN REGION, ALBANIA: A COMPARISON OF WEIBULL, LOG-NORMAL, AND GAMMA DISTRIBUTIONS
Dulina binti Tholibon Mohamed Hamdan bin Mohamad Ibrahim Sugganya A/P Munisparan	Politeknik Tun Syed Nasir Syed Ismail (MALAYSIA)	RAINWATER PURIFICATION SYSTEM WITH RENEWABLE ENERGY INTEGRATION
Gjon RROTA Assoc. Prof. Dr. Margarita KUQALI Assoc. Prof. Dr. Gazmend NAFEZI	Polytechnic University of Tirana (ALBANIA)	INDOOR RADON EVALUATION IN A FACULTY BUILDING IN TIRANA, ALBANIA: LEVELS, DOSIMETRY, AND IMPLICATIONS

DATE
- 05.04.2025

TIME
- 10^{00}–12^{00}

SESSION
- HALL-3
- SESSION-1

HEAD OF SESSION: Assoc. Prof. Dr. Hare KILIÇASLAN		
Tuğçe SONGUR KAHRAMAN Assist. Prof. Dr. Ömer Faruk CANSIZ	Iskenderun Technical University (TÜRKİYE)	ROAD HYPNOSIS: LITERATURE REVIEW
Tuğçe SONGUR KAHRAMAN Assist. Prof. Dr. Ömer Faruk CANSIZ	Iskenderun Technical University (TÜRKİYE)	EXAMINATION OF HIGHWAY HYPNOSIS WITH ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS AND REGRESSION ANALYSES
Nihal BENLİ Assoc. Prof. Dr. Latif Onur UĞUR	Duzce University (TÜRKİYE)	USING BUILDING INFORMATION MODELING FOR SUSTAINABLE CONSTRUCTION
Huseyin CILSALAR	Yozgat Bozok University (TÜRKİYE)	RESPONSE OF BASE-ISOLATED STRUCTURES WITH CONSIDERATION OF FRICTIONAL HEATING
Dr. Maryam GOLABI	Bursa Technical University (TÜRKİYE)	BEYOND THE TRANSITIONAL SPACE: RETHINKING ON THE FORMAL AND FUNCTIONAL SHIFTS OF CIRCULATION SPACES IN CONTEMPORARY SCHOOLS
Sevde DİNÇER Assoc. Prof. Dr. Hare KILIÇASLAN	Karadeniz Technical University (TÜRKİYE)	STUDIES ON CRITICAL THINKING AND ARCHITECTURAL EDUCATION: A BIOMETRIC ANALYSIS
Özlem Nur SAMANCI Assoc. Prof. Dr. Hare KILIÇASLAN	Karadeniz Technical University (TÜRKİYE)	CRITICAL APPROACHES TO ARCHITECTURAL DESIGN: ANALYSES THROUGH THE MİMARLIK JOURNAL
Aslı ARSLANTAŞ Prof. Dr. Şayeste Tülin GÖRGÜLÜ	Yildiz Technical University (TÜRKİYE)	ECOLOGICAL CORRIDORS and ANIMAL-FRIENDLY ARCHITECTURAL DESIGNS: COMPARASION of WORLD EXAMPLES
İremnur AYDIN Prof. Dr. Pınar GÜLTEKİN	Düzce University (TÜRKİYE)	EVALUATION OF NATURAL AND CULTURAL HERITAGE WITHIN THE SCOPE OF ECOTOURISM ACTIVITIES

DATE
- 05.04.2025

TIME
- 10^{00}–12^{00}

SESSION
- HALL-4
- SESSION-1

HEAD OF SESSION: Dr. Praveen Kakada		
Soukaina El Bourachdi Amal Lahkimi	Sidi Mohamed Ben Abdellah University (MOROCCO)	DEVELOPMENT OF A NOVEL LOW-COST ADSORBENT CHITOSAN@EDTA@CELLULOSE COMPOSITE TO EFFECTIVELY REMOVE METHYL ORANGE DYE FROM WASTEWATER: EXPERIMENTAL AND THEORETICAL INVESTIGATION
Muhammad Shuaibu Maiwada Usman Abdulmalik	Umaru Musa Yaradua University (NIGERIA)	UTILIZATION OF WASTE PLASTIC AS A COAGULANT/FLOCCULANT IN WASTEWATER TREATMENT
Rawia Nasri Regaya Ksiksi Salma Daoud Mohamed Faouzi Zid	University of Tunis El Manar (TUNISIAN)	SYNTHESIS AND EFFECT OF NEW DECAVANADATE COMPOUND ON GROWTH AND VIABILITY OF GRAM-NEGATIVE BACTERIA
Hassan Manzoor Muhammad Usman Muhammad Abdullah	Government College University (PAKISTAN)	MIXED MICELLAR ENCAPSULATION OF NAPROXEN FOR ENHANCED SOLUBLIZATION USING SUITABLE SURFACTANTS
Madiha Anwar Muhammad Usman Ali Naqi	Government College University (PAKISTAN)	ROLE OF DIFFERENT SURFACTANTS (TX-100 AND TWEEN-80) IN ENHANCING THE SOLUBILITY OF ANTIBIOTIC DRUGS(LEVOFLOXACIN) FOR BETTER DRUG DELIVERY SYSTEM
Asmat Ullah Yahya	Khwaja Fareed University of Engineering and Information Technology (PAKISTAN)	THERMAL CHARACTERISTICS FOR THE FLOW OF WILLIAMSON HYBRID NANOFLUID (MOS2 + ZNO) BASED WITH ENGINE OIL OVER A STRECHED SHEET
Isyaku Abdullahi	Federal College of Animal Health and Production Technology (NIGERIA)	ACCELERATED CONVERGENCE FOR ELLIPTIC PDES: INTRODUCING THE SECOND REFINEMENT OF PARAMETRIC ACCELERATED OVER-RELAXATION (SRPAOR) ITERATIVE METHOD
Kajal Sachin Ashish Barpete	VIT Bhopal University (INDIA)	TOPIC- AUTONOMOUS ROBOTIC VEHICLE USING RASPBERRY PI AND LIDAR-BASED SLAM FOR REAL-TIME NAVIGATION
Dr. Praveen Kakada	Vellore Institute of Technology (INDIA)	EXPLORING THE EVOLVING DYNAMICS OF ORGANIZATIONAL BEHAVIOR: A COMPREHENSIVE REVIEW OF EMERGING TRENDS AND PRACTICES

DATE
- 05.04.2025

TIME
- 12^{30}–14^{30}

SESSION
- HALL-3
- SESSION-2

HEAD OF SESSION: Prof. Dr. Tuğba DÜZENLİ		
Prof. Dr. Tuğba DÜZENLİ Prof. Dr. Elif Merve ALPAK	Karadeniz Technical University (TÜRKİYE)	ARTISTIC INTERVENTIONS IN NATURE: TEMPORARY AND PERMANENT LANDSCAPE INSTALLATIONS
Prof. Dr. Tuğba DÜZENLİ Prof. Dr. Elif Merve ALPAK	Karadeniz Technical University (TÜRKİYE)	URBAN MEMORY SPACES AT THE INTERSECTION OF ART AND LANDSCAPE
Prof. Dr. Habibe ACAR Assist. Prof. Dr. Aysel YAVUZ	Karadeniz Technical University (TÜRKİYE)	EXPERIENCING SPACE THROUGH THE SENSES
Assist. Prof. Dr. Aysel YAVUZ Prof. Dr. Habibe ACAR	Karadeniz Technical University (TÜRKİYE)	OPEN SPACE DESIGNS PROMOTING PHYSICAL ACTIVITY: LANDSCAPE ARCHITECTURE APPROACHES FOR HEALTHY CITIES
Prof. Dr. Serap YILMAZ Res. Assist. Nida KURAK SEZGİN	Karadeniz Technical University (TÜRKİYE)	APPROACHES REFLECTING NATURE IN ZOO EXHIBITION DESIGN
Res. Assist. Nida KURAK SEZGİN Prof. Dr. Serap YILMAZ	Karadeniz Technical University (TÜRKİYE)	THE DEVELOPMENT OF PRO-ENVIRONMENTAL BEHAVIOR OF YOUNG PEOPLE AND ITS SOCIAL IMPACTS
Lect. Betül TÜRKMEN	İstanbul Beykent University (TÜRKİYE)	GREEN ROOF IN THE CONTEXT OF ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY
Lect. Ezgi Çıkrıkçı Lect. Betül TÜRKMEN	Istanbul Beykent University (TÜRKİYE)	EFFECTS OF MIGRATION ON URBAN SPACE: REPRODUCED URBAN POVERTY, SOCIAL EXCLUSION AND SPATIAL SEGREGATION

DATE
- 05.04.2025

TIME
- 12^{30}–14^{30}

SESSION
- HALL-4
- SESSION-2

HEAD OF SESSION: Alemayehu Girum Melaku		
C. Hrithik Raj S. Praneeth Sagar Mr. M. Suresh Ch. Sunil Kumar	Bharat Institute of Engineering and Technology (INDIA)	PERSONOLISED T-SHIRT CUSTOMIZATION PLATFORM
Olumuyiwa O. Akanbi Ephesus O. Fatunmbi	Federal Polytechnic (NIGERIA)	THERMAL ASSESSMENT OF MAGNETO-MICROPOLAR NANOFLUID FLOW OVER AN EXPANSIVE SHEET WITH ARRHENIUS EVALUATION: A CASE OF STAGNATION POINT
S.Haranath B.Sri Chetan M.Suresh Tawseef Ahmad	Bharat Institute of Engineering and Technology (INDIA)	DESIRABLE FEATURE FOR A QR CODE ATTENDANCE SYSTEM
Sathwik Babu Narahari Ghatti Venkata Padma Sai Anand Tawseef Ahmad M.Suresh	Bharat Institute of Engineering and Technology (INDIA)	FLUENTO:AI-POWERED EARLY DETECTION FOR DYSLEXIA
Irene Wanaemi Yakubu Nanyi Justine Mamven Hulda Maxwel Davwet	University of Jos (NIGERIA)	EFFECT OF THE IMPLEMENTATION OF BUSINESS EDUCATION CURRICULUM ON THE DEVELOPMENT OF ENTREPRENEURIAL SKILLS IN UPPER BASIC OF LANGTANG NORTH, PLATEAU STATE, NIGERIA
Alachew Amaneh Mechders Berhanu Assaye Alaba Tilahun Mekonnen Munie	University of Kabridahar (ETHIOPIA) Bahir Dar University (ETHIOPIA)	BIPOLAR FUZZY PSEUDO-UP SUBALGEBRA OF PSEUDO-UP ALGEBRA
Alemayehu Girum Melaku Berhanu Assaye Alaba Bekalu Tarekegn Bitew Beza Lamesgin Derseh	Bahir Dar University (ETHIOPIA) Debre Markos University (ETHIOPIA)	HESITANT FUZZY PSEUDO TM-SUBALGEBRA OF A PSEUDO TM-ALGEBRA
Alemayehu Girum Melaku Berhanu Assaye Alaba Bekalu Tarekegn Bitew Beza Lamesgin Derseh	Bahir Dar University (ETHIOPIA) Debre Markos University (ETHIOPIA)	FUZZY PTM SUBALGEBRA OF PTM - ALGEBRA

DATE
- 05.04.2025

TIME
- 15^{00}–17^{00}

SESSION
- HALL-3
- SESSION-3

HEAD OF SESSION: Assist. Prof. Dr. Yusuf Tahir ALTUNCI		
Assist. Prof. Dr. Ünsal AYBEK Assist. Prof. Dr. Bekir DOĞAN	Tokat Gaziosmanpasa University (TÜRKİYE)	HEAT EXCHANGER POSITIONING AND POWER OPTIMIZATION IN GEOTHERMAL POWER PLANT USING FLASH STEAM
Res. Assist. Ahmet Akay Özkale Dr. Ali Özdil Prof. Dr. Yunus Uzun	Aksaray University (TÜRKİYE) Kırşehir Ahi Evran University (TÜRKİYE) Aksaray University (TÜRKİYE)	OPTIMIZATION OF ROTOR PARAMETERS FOR TORQUE RIPPLE AND COGGING TORQUE REDUCTION IN 10 kW INTERIOR PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS MOTOR USING FINITE ELEMENT METHOD
Res. Assist. Emine İŞİN Prof. Dr. Nurettin ÇETİNKAYA	Konya Technical University (TÜRKİYE)	ANALYSIS OF POWER FACTOR AND VOLTAGE STABILITY IN SOLAR POWER PLANTS WITH PSS@SINCAL
Yavuz YEŞİL Assoc. Prof. Dr. Abdullah Talha KABAKUŞ	Duzce University (TÜRKİYE)	ENHANCING ONLINE SAFETY: TOXIC COMMENT CLASSIFICATION USING NATURAL LANGUAGE PROCESSING AND DEEP LEARNING
Mehmet Enes KAPLAN Dr. Oğuz ALTUN	Yildiz Technical University (TÜRKİYE)	SYMBOLIC MUSIC GENERATION USING LATENT REPRESENTATIONS OF A VAE
Bengüsu DUMAN Narin ULUIŞIK Tuğçe ÖZTURAÇ Dr. Durmuş ÖZDEMİR	Kütahya Dumlupinar University (TÜRKİYE)	VOLUNTEER MENTOR AND STUDENT MATCHING APPLICATION
Res. Assist. Berker DAL Res. Assist. Aylin SABANCI BAYRAMOĞLU	Pamukkale University (TÜRKİYE)	COMPARATIVE SENTIMENT ANALYSIS OF VEGAN RESTAURANT CUSTOMER REVIEWS WITH VADER AND ROBERTA ALGORITHMS
Res. Assist. Aylin SABANCI BAYRAMOĞLU Res. Assist. Berker DAL	Pamukkale University (TÜRKİYE)	EFFECTIVENESS OF LARGE LANGUAGE MODELS IN DETECTING COMPUTER-GENERATED FAKE PRODUCT REVIEWS
Assist. Prof. Dr. Yusuf Tahir ALTUNCI	Isparta University of Applied Sciences (TÜRKİYE)	A STUDY ON SOME EMPIRICAL FORMULAS AND MACHINE LEARNING (ML) MODELS USED IN PREDICTING CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH

DATE
- 05.04.2025

TIME
- 15^{00}–17^{00}

SESSION
- HALL-4
- SESSION-3

HEAD OF SESSION: Feriha Afrah BOUKHELKHAL		
Fjorela Verore Valbona Muda Driada Mitrushi Miranda Halili	Vlora University (ALBANIA) Polytechnic University of Tirana (ALBANIA) Polytechnic University of Tirana (ALBANIA) Vlora University (ALBANIA)	THE MINIMUM SOLAR RADIATION CRITERION FOR THE PERFORMANCE OF PHOTOVOLTAIC SYSTEMS IN MOUNTAINOUS AREAS: THE CASE OF LLOGARA, VLORË, ALBANIA
Mst. Serajum Munira M. Riju Khandaker M.S.I. Sarker M.K.R. Khan	University of Rajshahi (BANGLADESH)	AN EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF ZnO AND Mn DOPED ZnO THIN FILMS FOR OPTOELECTRONIC APPLICATIONS
ELHARAMI ANAS FORSAL ISSAM KEROUAD SOFIA	Sultan Moulay Slimane University (MOROCCO)	EVALUATION OF OM EXTRACT AS AN ECO-FRIENDLY CORROSION INHIBITOR FOR CARBON STEEL IN 1M HCL SOLUTION
El.Majdi S. Zerraf F.Alloun M.E. Belghiti A.Ouasri Said Belaaouad	Hassan II University of Casablanca (MOROCCO)	SYNTHESIS, STRUCTURAL ANALYSIS, AND QUANTUM CHEMICAL INVESTIGATION OF 2-METHYL-6-NITROANILINIUM HYDROGEN SULFATE: EXPERIMENTAL AND THEORETICAL APPROACHES
Feriha Afrah BOUKHELKHAL	Laboratoire Matériaux (ALGERIA)	ANALYSIS OF THE IMPACT OF TEMPERATURE AND BAND GAP ON THE PERFORMANCE OF CZTSSE SOLAR CELLS
Feriha Afrah BOUKHELKHAL	Laboratoire Matériaux (ALGERIA)	EFFECT OF SELENIUM CONCENTRATION ON SOLAR CELL-BASED CZTSSE PERFORMANCE
Prof. Dr. Gunjan Mukherjee Assist. Prof. Dr. Shantanu Bhadra Assoc. Prof. Dr. Jayanta Aich	Brainware University (INDIA)	CHALLENGES IN PROTECTING CYBER-PHYSICAL SYSTEMS: STRATEGIES FOR RESILIENT SECURITY
K.R.Padma K.R.Don	Sri Padmavati Mahila Visvavidyalayam (Women's) University (INDIA) Bharath University (INDIA)	ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPLICATIONS AND CLIMATE-FRIENDLY HYDROGEN FUEL CELL VEHICLE USE AS EMERGING TECHNOLOGIES FOR A SUSTAINABLE FUTURE

DATE
- 06.04.2025

TIME
- 10^{00}–12^{00}

SESSION
- HALL-3
- SESSION-1

HEAD OF SESSION: Assoc. Prof. Dr. Arti Saxena		
Jondhale Janhavi Motiram	K.R.T. Arts, B.H. Commerce & A.M. Science (K.T.H.M.) College (INDIA)	ASSESSMENT OF NOISE POLLUTION ON GANGAPUR ROAD, NASHIK: SOURCES, IMPACTS, AND MITIGATION STRATEGIES
Khawla Barkat Kamel Guimeur Hanane Bedjaoui	Mohamed Khider University (ALGERIA)	IMPACT OF BIOCHAR FROM DATE PALM WASTE ON DATE PRODUCTION AT DIFFERENT PHENOLOGICAL STAGES IN ALGERIA
Boutalbi Houda	University of Biskra (ALGERIA)	SUSTAINABLE UTILIZATION OF DATE PALM RESIDUES: COMPOST PRODUCTION AND AGRONOMIC IMPACT ASSESSMENT
Assist. Prof. Dr. VIGNESH K Assist. Prof. Dr. K. SELVAM Assist. Prof. Dr. ARSHA G	Palar Agricultural College (INDIA)	EFFECT OF NEW GENERATION FUNGICIDES AGAINST Helminthosporium oryzae CAUSES BROWN SPOT IN RICE (Oryza sativa L.)
Olfa HAJJI ALA Bougeurra Saleh Jelliti	Medjez El Beb Higher School of Engineering (TUNISIAN)	HYDRO-AGRICULTURAL DEVELOPMENT STRATEGY FOR THE EL KHRIOUA WATERSHED (KAIROUAN GOVERNORATE IN TUNISIA)
Kayode Samuel Obaniyi Ibukun Elizabeth Ojo Grace Mfon Ekanem	Landmark University Omu-Aran (NIGERIA)	ASSESSMENT OF CASSAVA FARMERS USAGE OF IMPROVED TECHNOLOGIES IN NORTH CENTRAL, NIGERIA
Assoc. Prof. Dr. Arti Saxena	Manav Rachna International Institute of Research Studies (INDIA)	IMPACT OF CILIA VELOCITY ON MUCUS FLOW DURING PROLONGED MILD COUGH
S Pragadeeshwaran Assist. Prof. Dr. K. R. Preethy	Rajalakshmi Engineering College (INDIA)	EXPLORING THE POTENTIAL OF BANANA PEDUNCLE JUICE IN PLANT GROWTH ENHANCEMENT
Rabar Mohammed Hussein	Noble Technical Institute (IRAQ)	A RANDOMIZED STUDY ON THE EFFECTS OF GLUCOSE ON HUMAN HEALTH AT THE NOBLE INSTITUTE IN THE KURDISTAN REGION OF IRAQ
Viola Karapici	Polytechinc University of Tirana (ALBANIA)	LEXICAL AMBIGUITY, POLYSEMY, AND CONTEXTUAL UNDERSTANDING IN ENGLISH FOR SPECIFIC PURPOSES: CHALLENGES AND STRATEGIES FOR ARCHITECTURE AND CIVIL ENGINEERING STUDENTS

DATE
- 06.04.2025

TIME
- 10^{00}–12^{00}

SESSION
- HALL-4
- SESSION-1

HEAD OF SESSION: Subhashish Dey		
Ferdous Ahmad Opi	(MOROCCO)	BIOMIMETIC NANOCARRIERS INSPIRED BY SQUID PROTEINS: A NEXT-GENERATION APPROACH TO PRECISION ONCOLOGY
Jannatul Ferdousi	(MOROCCO)	MICROBIAL INFLUENCE ON AUTOIMMUNE PATHOGENESIS: DECIPHERING HOST-PATHOGEN INTERACTIONS FOR NOVEL THERAPEUTIC STRATEGIES
AKPAN, U.M.	Federal Polytechnic (NIGERIA)	ISOLATION, IDENTIFICATION AND QUANTIFICATION OF THE BACTERIAL POPULATION ON DIFFERENT LOCAL FOOD MILLING OUTLETS IN SWALI MARKET
Prince Kumar Priya Roy	IEC College of Engineering and Technology (INDIA)	VACCINE SAFETY
Dr. Akbar Ali Kainat Zohra Muhammad Zia ul Mustafa	Government College University Faisalabad (PAKISTAN)	POLYMORPHS OF 1-NAPHTHALDEHYDE BASED CHALCONE: SYNTHESIS, SINGLE-CRYSTAL, HIRSHFELD SURFACE, THEORETICAL, AND BIOLOGICAL POTENTIAL INVESTIGATIONS
Adeboye, Muhammed Mustapha	Confluence University of Science and Technology (NIGERIA)	PLASMID CURING POTENTIAL OF NIGELLA SATIVA ON MULTIDRUG RESISTANT STAPHYLOCOCCUS AUREUS
Rehana Riaz Saima Bibi Muhammad Zubair	Government College University Faisalabad (PAKISTAN)	COPPER-MEDIATED N-ARYLATION OF METHYL 2-AMINOTHIOPHENE-3-CARBOXYLATE WITH ORGANOBORON REAGENTS
Ruth Pedro Prof. Dr. Rita Bárbara Prof. Dr. Silvana Rocha da Silveira	Universidade Privada de Angola (ANGOLA)	FRAILTY AND SARCOPENIA PROGRESSION IN HEMODIALYSIS PATIENTS: INSIGHTS FROM ANGOLAN ARMY CLINICS
Subhashish Dey	Gudlavalleru Engineering College (INDIA)	PLASTICS WASTE AND ITS EFFECTS ON ENVIRONMENTAL ASPECTS: A SCIENTIFIC ANALYSIS AND COMPREHENSIVE REVIEW

IN-PERSON PRESENTATIONS

05.04.2025

	ANKARA LOCAL TIME 15 00 : 17 00		**Adress:** Ramada Plaza by Wyndham Izmir, Etiler, Mürselpaşa Blv. No: 12/104, 35240 Konak/İzmir

HEAD OF SESSION: Assist. Prof. Dr. Yasal ÖZDEMİR

AUTHORS	AFFILIATION	TOPIC TITLE
Murat İŞİVAR Prof. Dr. Mehmet CEBECİ	Firat University (TÜRKİYE)	DETECTION OF NEUTRAL DISCONNECTION IN LOW VOLTAGE DISTRIBUTION NETWORKS
Emine ULUSOY Assoc. Prof. Dr. Durmuş ÖZDEMİR	Kütahya Dumlupınar University (TÜRKİYE)	DETECTION OF HIP DYSPLASIA FROM X-RAY IMAGES WITH DEEP LEARNING


INTERNATIONAL
AEGEAN
CONGRESSES


INTERNATIONAL
AEGEAN
CONGRESSES

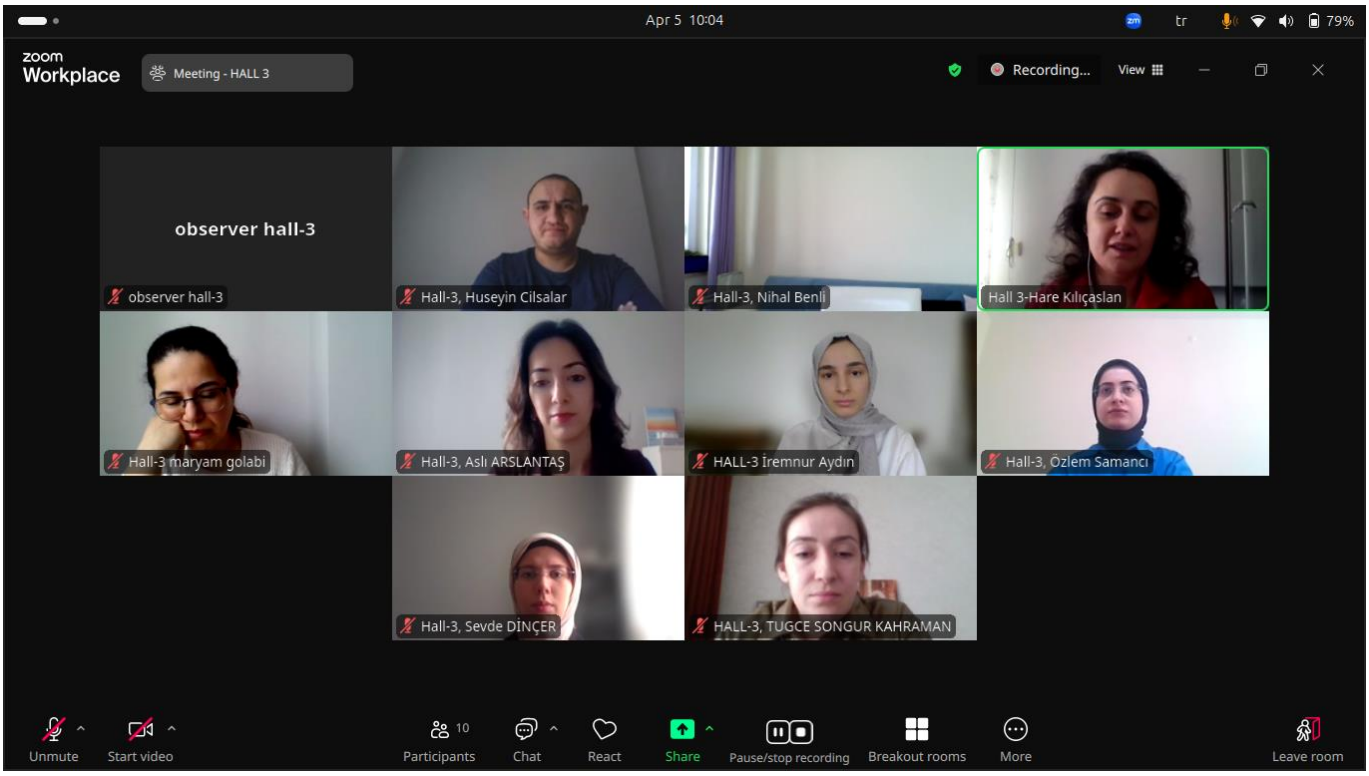


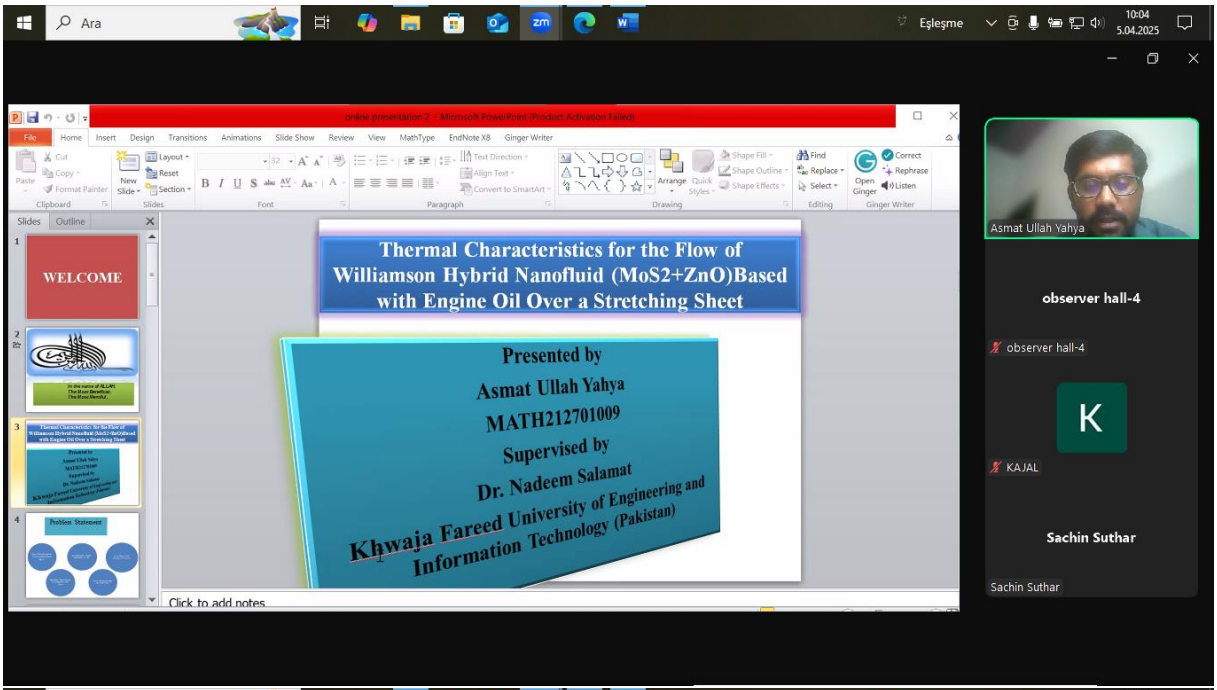

INTERNATIONAL
AEGEAN
CONGRESSES

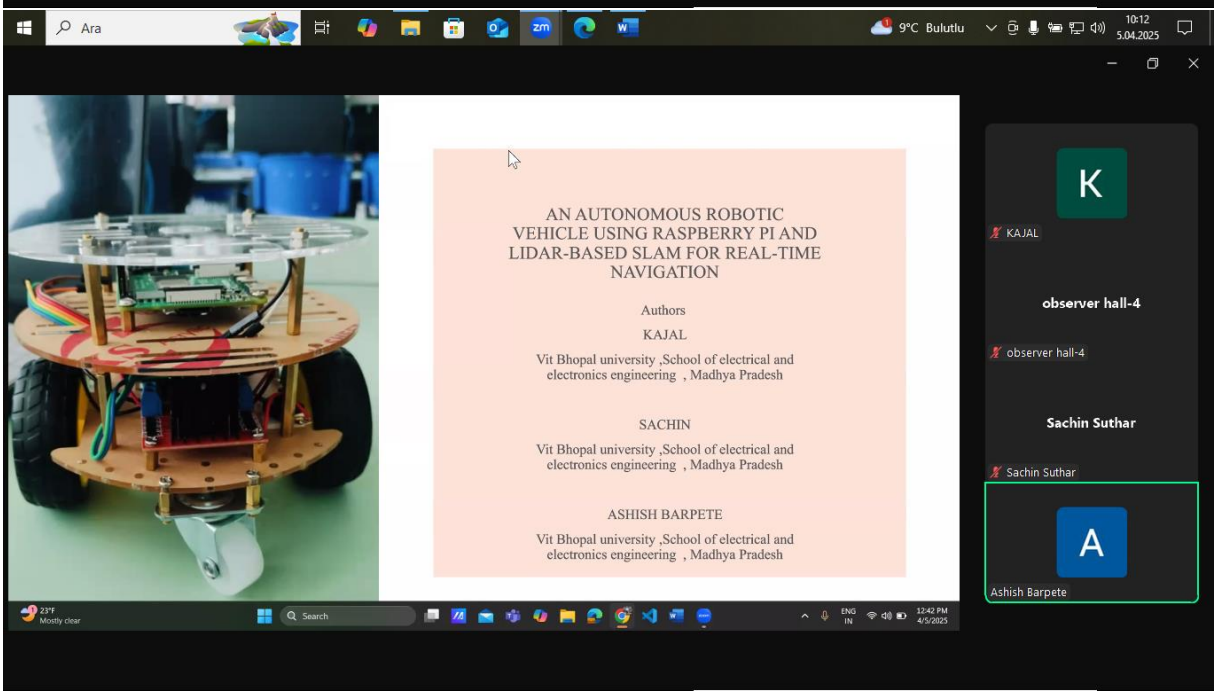

INTERNATIONAL
AEGEAN
CONGRESSES


INTERNATIONAL
AEGEAN
CONGRESSES


"Dijital Zorbalık: Bir Yolculuk
ve Yol İşaretleri"
INTERNATIONAL
AEGEAN
CONGRESSES


Apr 5 10:04
tr
79%
zoom Workplace
Meeting - HALL 3
Recording...
View
observer hall-3
observer hall-3
Hall-3, Huseyin Cilsalar
Hall-3, Nihal Benli
Hall 3-Hare Kılıçaslan
Hall-3 maryam golabi
Hall-3, Aslı ARSLANTAŞ
HALL-3 İremnur Aydın
Hall-3, Özlem Samancı
Hall-3, Sevde DİNÇER
HALL-3, TUGCE SONGUR KAHRAMAN
Unmute
Start video
10
Participants
Chat
React
Share
Pause/stop recording
Breakout rooms
More
Leave room


Ara
Eşleşme
10:04
5.04.2025
online presentation 2 - Microsoft PowerPoint (Product Activation Failed)
Slides
Outline
WELCOME
Thermal Characteristics for the Flow of Williamson Hybrid Nanofluid (MoS2+ZnO)Based with Engine Oil Over a Stretching Sheet
Presented by
Asmat Ullah Yahya
MATH212701009
Supervised by
Dr. Nadeem Salamat
Khwaja Fareed University of Engineering and Information Technology (Pakistan)
Click to add notes
Asmat Ullah Yahya
observer hall-4
observer hall-4
K
KAJAL
Sachin Suthar
Sachin Suthar


Ara
9°C Bulutlu
10:12
5.04.2025
AN AUTONOMOUS ROBOTIC VEHICLE USING RASPBERRY PI AND LIDAR-BASED SLAM FOR REAL-TIME NAVIGATION
Authors
KAJAL
Vit Bhopal university ,School of electrical and electronics engineering , Madhya Pradesh
SACHIN
Vit Bhopal university ,School of electrical and electronics engineering , Madhya Pradesh
ASHISH BARPETE
Vit Bhopal university ,School of electrical and electronics engineering , Madhya Pradesh
K
KAJAL
observer hall-4
observer hall-4
Sachin Suthar
Sachin Suthar
A
Ashish Barpete

CONTENT

CONFERENCES ID	**I**
PROGRAM	**II**
PHOTO GALLERY	**III**
CONTENT	**IV**

Author	Title	No
Nil YAPICI Nusret NURLU Hande SONSUN	NEPHELINE AS AN ALTERNATIVE RAW MATERIAL	1
Ülkü YARAN Yasemen KALPAKLI	COMPARISON OF LIFE CYCLE ASSESMENT OF FLEXIBLE PACKAGING TYPES AND REVIEW OF SECTORAL SUSTAINABILITY ACTIONS	9
İnci KARAKAŞ	TREATMENT OF PAPER INDUSTRY WASTEWATER BY COAGULATION-FLOCCULATION PROCESS	21
Berat BAYRAMOĞLU Salim ASLANLAR	COMPARISON AND INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF FRICTION STIR WELDING ON 6005 AND 6005A ALUMINUM ALLOYS	28
Hakan ALYÜRÜK	CHARACTERIZATION OF A MICRO-REACTOR BY RESIDENCE AND MICROMIXING TIME TESTS TO USE IN A DERIVATIZATION REACTION	40
Mehmet DEMİR Nilgül ÇETİN Nasır NARLIOĞLU	ANALYSIS OF CHEMICAL COMPOSITIONS OF LIGNOCELLULOSIC FIBRES DERIVED FROM WASTE WOODEN PALLETS	42
Serdar Kaan HORTOOĞLU Onur AKKAŞ Sedat TARAKÇI Efe IŞIK	INVESTIGATION OF CIRCLIP ASSEMBLY AND DISASSEMBLY FORCES BY EXPERIMENTAL AND FEA METHODS	52
Rifat YAKUT Ömer ÇİFTÇİ	EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE WEAR BEHAVIOR OF TiB2 REINFORCED GRAY CAST IRON	68
Begüm DERELİ Öznur DÜLGER KUTLU Yasemen KALPAKLI	EFFECT OF AMBIENT pH CHANGE IN COMPARATIVE STUDY OF ULTRASOUND RADIATION AND CONVENTIONAL TREATMENT METHODS OF METHYLENE BLUE FROM AQUEOUS SOLUTIONS: EFFECT OF REACTIVE OXYGEN SPECIES ON ADSORBENT EFFICIENCY	81
Harun KARCI	ANNOVARGUI: A USER-FRIENDLY INTERFACE FOR GENOME ANNOTATION	83
Feyza Hilal SAĞLAM	IDENTIFICATION AND PERFORMANCE ANALYSIS OF VARIOUS COATING METHODS TO ENHANCE THE MATING PERFORMANCE OF STEEL MATERIALS IN GEAR SYSTEMS	88
Demet MUTLU BALCI Pınar TERZİOĞLU	IMPROVEMENT OF PAINT ADHESION OF POLYPROPYLENE MATERIAL WITH INCORPORATION OF UV ADDITIVE	90
Mehmet Metehan TOPDEMİR Osman BİCAN	MECHANICAL PERFORMANCE ANALYSIS AND THEORETICAL COMPARISON OF ISOGRID DESIGN IN TOPOLOGICAL OPTIMIZATION OF ALUMINUM STRUCTURES	92

Oğuzhan CARUS Gülcan ÖZEL EROL Musa ÖZKAN	POWER GENERATION OPTIMIZATION IN TANDEM-ARRANGED WIND TURBINES: A TAGUCHI DESIGN APPROACH	110
Gültekin SÜLEYMANOVA	IMPROVING THE QUALITY OF MULTI-DIMENSIONAL X-RAY IMAGES	123
Müfide NARLI Sefkan Yılmaz KARAMAN	THE RELATIONSHIP BETWEEN COUNTRIES' ELECTRICITY CONSUMPTION AND ECONOMIC GROWTH: AN ANALYSIS WITHIN THE FRAMEWORK OF SUSTAINABILITY	128
Büşra Bozyer Züleyha Değirmenci Cansu Batcık	YARN PRODUCTION FROM SEAWEED BASED FIBERS: A STEP TOWARDS SUSTAINABLE TEXTILES	130
Fatih Şen Reyhan Yıldırım Badurluoğlu Kemal Atay Fatih Çalışkan	THE EFFECT OF RELIEF APPLICATION ON SURFACE DEFECT REDUCTION AND THE PRODUCTION PROCESS IN CERAMIC SANITARY WARE	137
İrem ALTINOK Fatih ÇALIŞKAN	STABILITY OF PIGMENTS USED IN COLOURED GLAZES DURING FIRST AND SECOND FIRING	139
Arbër Zeqiraj Altin Gjevori Artan Llozana Naim Syla Fisnik Aliaj	EXPERIMENTAL MEASUREMENT AND MODELING OF THE REFRACTIVE INDEX FOR THE TERNARY MIXTURE PROPAN-1-OL + CYCLOHEXANE + BENZENE AT 298.15 K AND ATMOSPHERIC PRESSURE	146
Altin GJEVORI Arbër ZEQIRAJ Artan LLOZANA Naim SYLA Fisnik ALIAJ	APPLICATION OF REFRACTIVE INDICES MIXING RULES IN BINARY SYSTEMS OF 1 - BUTANOL, T - BUTANOL WITH TOLUENE, ETHYLBENZENE, AND ISOBUTANOL + TOLUENE AT A TEMPERATURE OF 303.15 K UNDER ATMOSPHERIC PRESSURE	155
Miranda HALILI Valbona MUDA Driada MITRUSHI Fjorela VERAJ	ASSESSING WIND POWER DENSITY IN SEMAN REGION, ALBANIA: A COMPARISON OF WEIBULL, LOG-NORMAL, AND GAMMA DISTRIBUTIONS	162
Dulina binti Tholibon Mohamed Hamdan bin Mohamad Ibrahim Sugganya A/P Munisparan	RAINWATER PURIFICATION SYSTEM WITH RENEWABLE ENERGY INTEGRATION	163
Gjon RROTA Margarita KUQALI Gazmend NAFEZI	INDOOR RADON EVALUATION IN A FACULTY BUILDING IN TIRANA, ALBANIA: LEVELS, DOSIMETRY, AND IMPLICATIONS	164
Tuğçe SONGUR KAHRAMAN Ömer Faruk CANSIZ	ROAD HYPNOSIS: LITERATURE REVIEW	176
Tuğçe SONGUR KAHRAMAN Ömer Faruk CANSIZ	EXAMINATION OF HIGHWAY HYPNOSIS WITH ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS AND REGRESSION ANALYSES	183
Nihal BENLİ Latif Onur UĞUR	USING BUILDING INFORMATION MODELING FOR SUSTAINABLE CONSTRUCTION	185
Huseyin CILSALAR	RESPONSE OF BASE-ISOLATED STRUCTURES WITH CONSIDERATION OF FRICTIONAL HEATING	203
Maryam GOLABI	BEYOND THE TRANSITIONAL SPACE: RETHINKING ON THE FORMAL AND FUNCTIONAL SHIFTS OF CIRCULATION SPACES IN CONTEMPORARY SCHOOLS	222
Sevde DİNÇER Hare KILIÇASLAN	STUDIES ON CRITICAL THINKING AND ARCHITECTURAL EDUCATION: A BIOMETRIC ANALYSIS	232
Özlem Nur SAMANCI Hare KILIÇASLAN	CRITICAL APPROACHES TO ARCHITECTURAL DESIGN: ANALYSES THROUGH THE MİMARLIK JOURNAL	244

Aslı ARSLANTAŞ Şayeste Tülin GÖRGÜLÜ	ECOLOGICAL CORRIDORS and ANIMAL-FRIENDLY ARCHITECTURAL DESIGNS: COMPARASION of WORLD EXAMPLES	258
İremnur AYDIN Pınar GÜLTEKİN	EVALUATION OF NATURAL AND CULTURAL HERITAGE WITHIN THE SCOPE OF ECOTOURISM ACTIVITIES	261
Soukaina El Bourachdi Amal Lahkimi	DEVELOPMENT OF A NOVEL LOW-COST ADSORBENT CHITOSAN@EDTA@CELLULOSE COMPOSITE TO EFFECTIVELY REMOVE METHYL ORANGE DYE FROM WASTEWATER: EXPERIMENTAL AND THEORETICAL INVESTIGATION	274
Muhammad Shuaibu Maiwada Usman Abdulmalik	UTILIZATION OF WASTE PLASTIC AS A COAGULANT/FLOCCULANT IN WASTEWATER TREATMENT	275
Rawia Nasri Regaya Ksiksi Salma Daoud Mohamed Faouzi Zid	SYNTHESIS AND EFFECT OF NEW DECAVANADATE COMPOUND ON GROWTH AND VIABILITY OF GRAM-NEGATIVE BACTERIA	276
Hassan Manzoor Muhammad Usman Muhammad Abdullah	MIXED MICELLAR ENCAPSULATION OF NAPROXEN FOR ENHANCED SOLUBLIZATION USING SUITABLE SURFACTANTS	277
Madiha Anwar Muhammad Usman Ali Naqi	ROLE OF DIFFERENT SURFACTANTS (TX-100 AND TWEEN-80) IN ENHANCING THE SOLUBILITY OF ANTIBIOTIC DRUGS(LEVOFLOXACIN) FOR BETTER DRUG DELIVERY SYSTEM	278
Asmat Ullah Yahya	THERMAL CHARACTERISTICS FOR THE FLOW OF WILLIAMSON HYBRID NANOFLUID (MOS2 + ZNO) BASED WITH ENGINE OIL OVER A STRECHED SHEET	279
Isyaku Abdullahi	ACCELERATED CONVERGENCE FOR ELLIPTIC PDES: INTRODUCING THE SECOND REFINEMENT OF PARAMETRIC ACCELERATED OVER-RELAXATION (SRPAOR) ITERATIVE METHOD	280
Kajal Sachin Ashish Barpete	TOPIC- AUTONOMOUS ROBOTIC VEHICLE USING RASPBERRY PI AND LIDAR-BASED SLAM FOR REAL-TIME NAVIGATION	281
Praveen Kakada	EXPLORING THE EVOLVING DYNAMICS OF ORGANIZATIONAL BEHAVIOR: A COMPREHENSIVE REVIEW OF EMERGING TRENDS AND PRACTICES	291
Tuğba DÜZENLİ Elif Merve ALPAK	ARTISTIC INTERVENTIONS IN NATURE: TEMPORARY AND PERMANENT LANDSCAPE INSTALLATIONS	292
Tuğba DÜZENLİ Elif Merve ALPAK	URBAN MEMORY SPACES AT THE INTERSECTION OF ART AND LANDSCAPE	303
Habibe ACAR Aysel YAVUZ	EXPERIENCING SPACE THROUGH THE SENSES	312
Aysel YAVUZ Habibe ACAR	OPEN SPACE DESIGNS PROMOTING PHYSICAL ACTIVITY: LANDSCAPE ARCHITECTURE APPROACHES FOR HEALTHY CITIES	328
Serap YILMAZ Nida KURAK SEZGİN	APPROACHES REFLECTING NATURE IN ZOO EXHIBITION DESIGN	341
Nida KURAK SEZGİN Serap YILMAZ	THE DEVELOPMENT OF PRO-ENVIRONMENTAL BEHAVIOR OF YOUNG PEOPLE AND ITS SOCIAL IMPACTS	354
Betül TÜRKMEN	GREEN ROOF IN THE CONTEXT OF ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY	364
Ezgi Çıkrıkçı Betül TÜRKMEN	EFFECTS OF MIGRATION ON URBAN SPACE: REPRODUCED URBAN POVERTY, SOCIAL EXCLUSION AND SPATIAL SEGREGATION	380
C. Hrithik Raj S. Praneeth Sagar	PERSONOLISED T-SHIRT CUSTOMIZATION PLATFORM	391

Mr. M. Suresh Ch. Sunil Kumar		
Olumuyiwa O. Akanbi Ephesus O. Fatunmbi	THERMAL ASSESSMENT OF MAGNETO-MICROPOLAR NANOFLUID FLOW OVER AN EXPANSIVE SHEET WITH ARRHENIUS EVALUATION: A CASE OF STAGNATION POINT	392
S.Haranath B.Sri Chetan M.Suresh Tawseef Ahmad	DESIRABLE FEATURE FOR A QR CODE ATTENDANCE SYSTEM	393
Sathwik Babu Narahari Ghatti Venkata Padma Sai Anand Tawseef Ahmad M.Suresh	FLUENTO:AI-POWERED EARLY DETECTION FOR DYSLEXIA	394
Irene Wanaemi Yakubu Nanyi Justine Mamven Hulda Maxwel Davwet	EFFECT OF THE IMPLEMENTATION OF BUSINESS EDUCATION CURRICULUM ON THE DEVELOPMENT OF ENTREPRENEURIAL SKILLS IN UPPER BASIC OF LANGTANG NORTH, PLATEAU STATE, NIGERIA	395
Alachew Amaneh Mechders Berhanu Assaye Alaba Tilahun Mekonnen Munie	BIPOLAR FUZZY PSEUDO-UP SUBALGEBRA OF PSEUDO-UP ALGEBRA	396
Alemayehu Girum Melaku Berhanu Assaye Alaba Bekalu Tarekegn Bitew Beza Lamesgin Derseh	HESITANT FUZZY PSEUDO TM-SUBALGEBRA OF A PSEUDO TM-ALGEBRA	397
Alemayehu Girum Melaku Berhanu Assaye Alaba Bekalu Tarekegn Bitew Beza Lamesgin Derseh	FUZZY PTM SUBALGEBRA OF PTM - ALGEBRA	398
Ünsal AYBEK Bekir DOĞAN	HEAT EXCHANGER POSITIONING AND POWER OPTIMIZATION IN GEOTHERMAL POWER PLANT USING FLASH STEAM	399
Ahmet Akay Özkale Ali Özdil Yunus Uzun	OPTIMIZATION OF ROTOR PARAMETERS FOR TORQUE RIPPLE AND COGGING TORQUE REDUCTION IN 10 kW INTERIOR PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS MOTOR USING FINITE ELEMENT METHOD	415
Emine İŞİN Nurettin ÇETİNKAYA	ANALYSIS OF POWER FACTOR AND VOLTAGE STABILITY IN SOLAR POWER PLANTS WITH PSS@SINCAL	433
Yavuz YEŞİL Abdullah Talha KABAKUŞ	ENHANCING ONLINE SAFETY: TOXIC COMMENT CLASSIFICATION USING NATURAL LANGUAGE PROCESSING AND DEEP LEARNING	448
Mehmet Enes KAPLAN Oğuz ALTUN	SYMBOLIC MUSIC GENERATION USING LATENT REPRESENTATIONS OF A VAE	462
Bengüsu DUMAN Narin ULUIŞIK Tuğçe ÖZTURAÇ Durmuş ÖZDEMİR	VOLUNTEER MENTOR AND STUDENT MATCHING APPLICATION	463
Berker DAL Aylin SABANCI BAYRAMOĞLU	COMPARATIVE SENTIMENT ANALYSIS OF VEGAN RESTAURANT CUSTOMER REVIEWS WITH VADER AND ROBERTA ALGORITHMS	476
Aylin SABANCI BAYRAMOĞLU Berker DAL	EFFECTIVENESS OF LARGE LANGUAGE MODELS IN DETECTING COMPUTER-GENERATED FAKE PRODUCT REVIEWS	478
Yusuf Tahir ALTUNCI	A STUDY ON SOME EMPIRICAL FORMULAS AND MACHINE LEARNING (ML) MODELS USED IN PREDICTING CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH	480

Fjorela Verore Valbona Muda Driada Mitrushi Miranda Halili	THE MINIMUM SOLAR RADIATION CRITERION FOR THE PERFORMANCE OF PHOTOVOLTAIC SYSTEMS IN MOUNTAINOUS AREAS: THE CASE OF LLOGARA, VLORË, ALBANIA	491
Serajum Munira M. Riju Khandaker M.S.I. Sarker M.K.R. Khan	AN EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF ZnO AND Mn DOPED ZnO THIN FILMS FOR OPTOELECTRONIC APPLICATIONS	498
ELHARAMI ANAS FORSAL ISSAM KEROUAD SOFIA	EVALUATION OF OM EXTRACT AS AN ECO-FRIENDLY CORROSION INHIBITOR FOR CARBON STEEL IN 1M HCL SOLUTION	499
El.Majdi S. Zerraf F.Alloun M.E. Belghiti A.Ouasri Said Belaaouad	SYNTHESIS, STRUCTURAL ANALYSIS, AND QUANTUM CHEMICAL INVESTIGATION OF 2-METHYL-6-NITROANILINIUM HYDROGEN SULFATE: EXPERIMENTAL AND THEORETICAL APPROACHES	500
Feriha Afrah BOUKHELKHAL	ANALYSIS OF THE IMPACT OF TEMPERATURE AND BAND GAP ON THE PERFORMANCE OF CZTSSE SOLAR CELLS	502
Feriha Afrah BOUKHELKHAL	EFFECT OF SELENIUM CONCENTRATION ON SOLAR CELL-BASED CZTSSE PERFORMANCE	503
Gunjan Mukherjee Shantanu Bhadra Jayanta Aich	CHALLENGES IN PROTECTING CYBER-PHYSICAL SYSTEMS: STRATEGIES FOR RESILIENT SECURITY	504
K.R.Padma K.R.Don	ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPLICATIONS AND CLIMATE-FRIENDLY HYDROGEN FUEL CELL VEHICLE USE AS EMERGING TECHNOLOGIES FOR A SUSTAINABLE FUTURE	505
Jondhale Janhavi Motiram	ASSESSMENT OF NOISE POLLUTION ON GANGAPUR ROAD, NASHIK: SOURCES, IMPACTS, AND MITIGATION STRATEGIES	507
Khawla Barkat Kamel Guimeur Hanane Bedjaoui	IMPACT OF BIOCHAR FROM DATE PALM WASTE ON DATE PRODUCTION AT DIFFERENT PHENOLOGICAL STAGES IN ALGERIA	508
Boutalbi Houda	SUSTAINABLE UTILIZATION OF DATE PALM RESIDUES: COMPOST PRODUCTION AND AGRONOMIC IMPACT ASSESSMENT	509
VIGNESH K K. SELVAM ARSHA G	EFFECT OF NEW GENERATION FUNGICIDES AGAINST Helminthosporium oryzae CAUSES BROWN SPOT IN RICE (Oryza sativa L.)	510
Olfa HAJJI ALA Bougeurra Saleh Jelliti	HYDRO-AGRICULTURAL DEVELOPMENT STRATEGY FOR THE EL KHRIOUA WATERSHED (KAIROUAN GOVERNORATE IN TUNISIA)	511
Kayode Samuel Obaniyi Ibukun Elizabeth Ojo Grace Mfon Ekanem	ASSESSMENT OF CASSAVA FARMERS USAGE OF IMPROVED TECHNOLOGIES IN NORTH CENTRAL, NIGERIA	512
Arti Saxena	IMPACT OF CILIA VELOCITY ON MUCUS FLOW DURING PROLONGED MILD COUGH	513
S Pragadeeshwaran K. R. Preethy	EXPLORING THE POTENTIAL OF BANANA PEDUNCLE JUICE IN PLANT GROWTH ENHANCEMENT	514
Rabar Mohammed Hussein	A RANDOMIZED STUDY ON THE EFFECTS OF GLUCOSE ON HUMAN HEALTH AT THE NOBLE INSTITUTE IN THE KURDISTAN REGION OF IRAQ	515
Viola Karapici	LEXICAL AMBIGUITY, POLYSEMY, AND CONTEXTUAL UNDERSTANDING IN ENGLISH FOR SPECIFIC PURPOSES: CHALLENGES AND	516

	STRATEGIES FOR ARCHITECTURE AND CIVIL ENGINEERING STUDENTS	
Ferdous Ahmad Opi	BIOMIMETIC NANOCARRIERS INSPIRED BY SQUID PROTEINS: A NEXT-GENERATION APPROACH TO PRECISION ONCOLOGY	533
Jannatul Ferdousi	MICROBIAL INFLUENCE ON AUTOIMMUNE PATHOGENESIS: DECIPHERING HOST-PATHOGEN INTERACTIONS FOR NOVEL THERAPEUTIC STRATEGIES	534
AKPAN, U.M.	ISOLATION, IDENTIFICATION AND QUANTIFICATION OF THE BACTERIAL POPULATION ON DIFFERENT LOCAL FOOD MILLING OUTLETS IN SWALI MARKET	435
Prince Kumar Priya Roy	VACCINE SAFETY	536
Akbar Ali Kainat Zohra Muhammad Zia ul Mustafa	POLYMORPHS OF 1-NAPHTHALDEHYDE BASED CHALCONE: SYNTHESIS, SINGLE-CRYSTAL, HIRSHFELD SURFACE, THEORETICAL, AND BIOLOGICAL POTENTIAL INVESTIGATIONS	537
Adeboye, Muhammed Mustapha	PLASMID CURING POTENTIAL OF NIGELLA SATIVA ON MULTIDRUG RESISTANT STAPHYLOCOCCUS AUREUS	538
Rehana Riaz Saima Bibi Muhammad Zubair	COPPER-MEDIATED N-ARYLATION OF METHYL 2-AMINOTHIOPHENE-3-CARBOXYLATE WITH ORGANOBORON REAGENTS	539
Ruth Pedro Rita Bárbara Silvana Rocha da Silveira	FRAILTY AND SARCOPENIA PROGRESSION IN HEMODIALYSIS PATIENTS: INSIGHTS FROM ANGOLAN ARMY CLINICS	540
Subhashish Dey	PLASTICS WASTE AND ITS EFFECTS ON ENVIRONMENTAL ASPECTS: A SCIENTIFIC ANALYSIS AND COMPREHENSIVE REVIEW	542
Murat İŞİVAR Mehmet CEBECİ	DETECTION OF NEUTRAL DISCONNECTION IN LOW VOLTAGE DISTRIBUTION NETWORKS	543
Emine ULUSOY Durmuş ÖZDEMİR	DETECTION OF HIP DYSPLASIA FROM X-RAY IMAGES WITH DEEP LEARNING	555
Harun KARCI	OcBSA and QTL-SEQ BULK SEGREGANT ANALYSIS IN PISTACHIO	570

NEPHELINE AS AN ALTERNATIVE RAW MATERIAL

Nil YAPICI
Dr. Lecturer, Çukurova University, Faculty of Engineering, Department of Mining Engineering, Adana, Turkey.
ORCID ID: 0000-0001-9761-9122

Nusret NURLU
Assoc. Prof. Dr., Çukurova University, Faculty of Engineering, Department of Geological Engineering, Adana, Turkey.
ORCID ID: 0000-0002-3293-150X

Hande SONSUN
PhD Student, Çukurova University, Faculty of Engineering, Department of Geological Engineering, Adana, Turkey.
ORCID ID: 0000-0003-4784-5070

ABSTRACT

This study explores the potential of nepheline syenites as an alternative raw material in Turkey, focusing on their applications in the glass, ceramic, and aluminum industries. Nepheline, a mineral belonging to the feldspathoid group, is a critical component for these industries due to its energy efficiency and cost advantages. The nepheline syenite reserves in the Kırşehir Massif, which contain 20-30% nepheline, are of particular interest due to their high industrial potential. Furthermore, in tropical and subtropical climates, the lateritic ore formation process plays a significant role in enriching alumina, the key component for aluminum production. The potential use of nepheline syenites as an alternative to traditional bauxite deposits for aluminum production offers both economic and environmental benefits. This paper provides a comprehensive analysis of the mineralogical and petrographic properties of nepheline, the geological structure of the Kırşehir Massif, reserve evaluation, and the industrial applications of nepheline-bearing syenites, highlighting their significant contribution to sustainable resource use in the industry.

Keywords: Nepheline Syenite, Raw Materials, Kırşehir Massif, Aluminum Production, Industrial Applications, Mineralogical Properties

INTRODUCTION

Nepheline, as a member of the feldspathoid mineral group, holds significant importance in industrial applications. Its ability to replace feldspar, especially in industries such as glass, ceramics, aluminum, and others, allows nepheline to contribute economically (Smith, 2018; Zhang et al., 2020). This mineral plays a critical role in the search for alternative raw materials due to its low silica content and unique chemical composition (Jones and Roberts,

2017). Nepheline, especially in regions where feldspar resources are limited, stands out as a cost-effective and efficient alternative for industry (Lee et al., 2019).

The widespread use of feldspar in glass and ceramic production brings attention to the potential of nepheline in these sectors. Its chemical and physical properties demonstrate how nepheline can provide distinct advantages in these industrial processes (Park, 2021). Nepheline-bearing rocks are generally associated with magmatic rocks such as syenites, and the mineralogical composition of these rocks offers various opportunities for different industrial production processes (Miller, 2015). According to studies conducted in the Kırşehir Massif, the nepheline-bearing syenites found here show significant mineralogical diversity and can be evaluated as alternative raw material sources for industry (Yılmaz et al., 2023).This research aims to enhance the contribution of nepheline to industry by further developing strategies based on the understanding of its mineralogical properties and the reserve structure of nepheline-bearing syenites in the Kırşehir Massif. Additionally, assessing the future role and economic impact of nepheline in industrial applications is one of the main objectives of this study.

METHOD

Nepheline Mineralogy

Nepheline is a mineral that crystallizes in a hexagonal crystal system and is composed of aluminosilicates containing sodium and potassium (Figure 1). Nepheline is a silicate mineral within the feldspathoid mineral group, and it is particularly noted for its low silica content (Smith et al., 2018). Its chemical composition, Na3K(Al4Si4O16) (sodium aluminum silicate), makes it an important raw material source that can be used as a replacement for feldspar in various industrial applications (Zhang et al., 2020). The mineralogical properties of nepheline often make it a determining factor in industries such as ceramics, glass, and aluminum production.

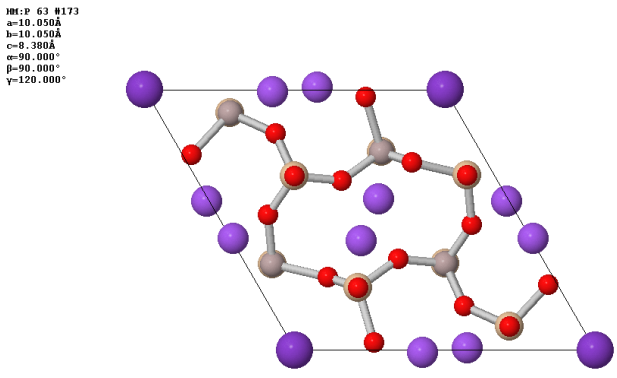


Figure 1. Crystal structure

Nepheline is generally a mineral with the formulas NaAlSiO4 and KAlSiO4. This mineral, which has a hexagonal crystal structure, shows variations in composition based on sodium

and potassium concentrations. Sodium-rich nepheline is used as an alkaline additive in the glass industry, while potassium-rich nepheline is preferred in the ceramic industry (Smith, 2018).

Physical Properties

Nepheline has a vitreous luster and is typically colorless or pale yellow. Its hardness ranges between 5.5 and 6 on the Mohs scale, and its density is approximately 2.6–2.7 g/cm³ (Gökçe, 2018).

Petrographic Properties

Nepheline-bearing syenites typically exhibit a granular structure. These rocks are composed of feldspar, quartz, mica, and alkali metals. Studies in the Kırşehir Massif have shown that the mineralogical structure of nepheline-bearing syenites holds industrial potential (Yılmaz et al., 2023). Petrographic studies indicate that nepheline is typically found between orthosyenites or alkali rocks. Nepheline's crystal structure has a fine-grained granular texture, which may show changes on both micro and macro scales (Figure 2). Petrographic analyses reveal that nepheline generally forms a mixture with minerals such as feldspar, quartz, and mica (Miller, 2005).

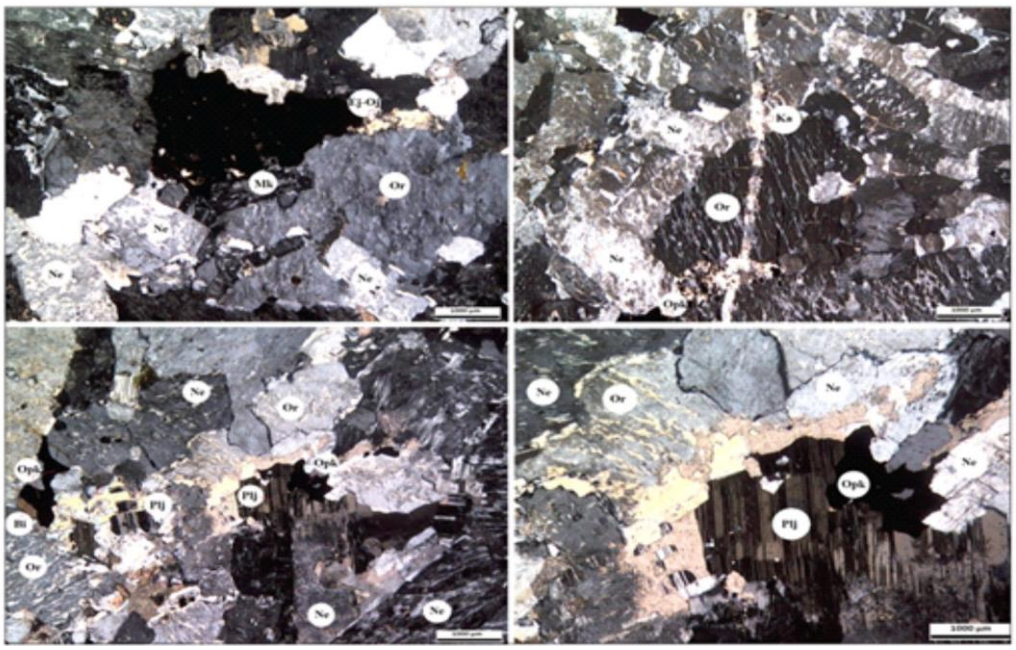


Figure 2. Photomicrographs of a nepheline-bearing syenite thin section (Ne: Nepheline, Or: Orthoclase, Plj: Plagioclase, Mk: Microcline, Bi: Biotite, Opk: Opaque mineral, Ej-Oj: Augite-Ojite) (Haner, 2020).

RESEARCH FINDINGS AND DISCUSSION

Nepheline Source in the Kırşehir Massif

The Kırşehir Massif stands out for its granitic texture and is a region with a high concentration of nepheline-bearing syenites (Figure 3). These rocks have a balanced distribution of microcline, plagioclase, nepheline, and mafic minerals. The 20-30% nepheline content indicates the potential of this area (Yücel, 1998; Sağlam et al., 2020). The nepheline-bearing syenites in this massif are of great industrial importance due to their mineralogical composition. Microcline and plagioclase minerals enhance the rock's durability, while the nepheline mineral is especially critical for the glass and ceramic industries (Öztürk, 2005; Güler, 2012).

The chemical composition of syenites provides important data regarding their suitability for industry. For high-quality porcelain and glass production, the amounts of Fe2O3 and TiO2 should not exceed 0.15% and 0.05%, respectively, while the maximum Fe2O3 amount for glass should be 0.08%. Analyses have shown that these rocks contain about 30% aluminum oxide (Al_2O_3), which is suitable for glass and ceramic production. The K2O content ranges from 5.8-9.2%, Na2O from 4.25-7.15%, and Fe2O3 from 0.68-4.1%. Additionally, silica (SiO2) content ranges between 50-55%, which is suitable for the glass industry. The high alkali metal components (sodium and potassium) further increase the suitability of nepheline-bearing syenites for the ceramic industry. These chemical characteristics highlight the industrial potential of nepheline-bearing syenites in the Kırşehir Massif (Yılmaz et al., 2023). Due to the higher nepheline and K2O content in the region, these rocks are particularly suitable for use as raw materials in ceramic production.



Figure 3. Images from BS Yatırım A.Ş. Kırşehir Nepheline Operations (Haner, 2021)

3.1. Reserves and Economic Potential

The total reserve of nepheline-bearing syenite in the Kırşehir Massif is estimated to be 120 million tons. However, it has been stated that only 70% of this reserve is economically

feasible for processing (Çalışkan, 2017). Nepheline-bearing syenites are not only a strategic resource for the glass and ceramic industries but also for aluminum production. The high nepheline content is a key factor that makes these rocks suitable for industrial use, and the future processing of these reserves will be an important step for the efficient use of Turkey's mineral resources (Kurtuluş, 2016).

The produced nepheline-bearing syenite is exported to many countries worldwide, including Spain, Italy, India, Russia, and Ukraine, contributing to the national economy. According to the 2023 Basic Economic Indicators of the Mining Sector by the General Directorate of MTA, the produced tonnage, export, and import values are presented below.

Table 1. Basic Economic Indicators of the Mining Sector for 2023 by the General Directorate of MTA

MADENLER	İHRACAT (2023)		İTHALAT (2023)	
	MİKTAR (TON)	DEĞER ($)	MİKTAR (TON)	DEĞER ($)
ENDÜSTRİYEL HAMMADDELER				
LÖSİT NEFELİN NEFELİN SİYENİT	3.828	891.239	3.320	1.481.902

Industrial Use of Nepheline-bearing Syenites and Alternative Raw Material Potential

It has been observed that the promotion of Turkish nepheline-bearing syenites both domestically and internationally has not been sufficiently done. When the grindability values of nepheline-bearing syenite are compared with the work index values of feldspathic raw materials currently used in the ceramic sector, it is clear that grinding can result in energy savings. The main markets for nepheline-bearing syenites are glass, ceramics, fillers, pigments, paints, coatings, and roofing particles. In ceramics, they enable low firing temperatures and rapid firing programs, especially in health care ceramics, tiles, electrical porcelain, tableware, and glazes. Nepheline-bearing syenite improves the strength of the final product and acts as a stabilizer in glass composition through the alumina contribution it provides. Thanks to its alkali content, it acts as a flux in glass mixtures, leading to savings not only in raw material costs but also in energy costs during production.

Glass and Ceramic Industry

Nepheline is used as an important alternative raw material in glass and ceramic production (Tüysüz, 2001). In glass production, nepheline stands out for its low silica content and high alkali metal composition. These properties facilitate the melting of the glass and make production processes more efficient. In ceramic production, its ability to provide durability and transparency at high temperatures is particularly advantageous (Kara et al., 2019).

Aluminum and Other Industrial Applications

Nepheline holds potential as an alternative to bauxite in aluminum production (Özdemir and Sevim, 2014). It is considered that nepheline-bearing syenites from the Kırşehir Massif may be suitable for aluminum production. Nepheline-bearing syenites, with their high aluminum oxide content, are easier to process compared to bauxite ores and could lower aluminum production costs (Yılmaz, 2010). Additionally, in the chemical industry, they could be considered a source of aluminum oxide and alkali metal components (Özdemir, 2005).

CONCLUSION

Nepheline-bearing syenites in the Kırşehir Massif, with their mineralogical and chemical properties, stand out as a strategic raw material source for both local and global industries. Particularly in the glass, ceramic, and aluminum industries, the advantages offered by these rocks not only enhance industrial efficiency but also provide significant cost savings in production. The low silica content, high alkali composition, and aluminum oxide content of nepheline make it a material that is not only valuable for domestic production but also in demand in international markets. The total reserve of these rocks in the Kırşehir Massif, approximately 120 million tons, with 70% of it being economically exploitable, indicates the efficient use of Turkey's mineral resources, while also providing a valuable input to the national economy.

This study has highlighted the potential industrial applications of nepheline-bearing syenites and laid the groundwork for the development of future sustainable production strategies. Particularly, their energy-saving properties in the glass and ceramic industries and their potential in aluminum production further solidify the contribution of these rocks to industry. The processing of these reserves in the Kırşehir Massif will not only ensure the efficient use of Turkey's mineral resources but also create a competitive advantage in the global mineral market. Therefore, the industrial use of nepheline-bearing syenites and further in-depth research will play a critical role in economic growth and the development of sustainable strategies for industry.

RFERENENCES

Çalışkan, H. (2017). Kırşehir Masifi'nde Nefelinli Siyenit Rezervlerinin Ekonomik Değerlendirilmesi. Mühendislik ve Jeoloji Dergisi, 47(3), 56-70.

Gökçe, A. (2018). Nefelinli siyenitlerin petrografisi ve jeokimyasal özellikleri: Orta Anadolu'dan örnekler. *Yerbilimleri*, **39**(1), 45–68. https://doi.org/10.55706/yerbilimleri.2018.05

Güler, H. (2012). Seramik Sanayinde Nefelinli Siyenitlerin Rolü. Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 40(1), 73-82.

Haner, S. 2021. T he Research about the Technological Properties of Nepheline Syenite in Akpınar (Kırşehir) Region. Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi, 11(2):123-131, 2021

Jones, M., & Roberts, P. (2017). Chemical Properties and Industrial Significance of Nepheline as an Alternative to Feldspar. Journal of Applied Geology, 30(4), 214-226.

Kara, D., Yıldız, A., & Öztürk, A. (2019). Seramik ve Cam Üretiminde Nefelinli Siyenitlerin Yeri ve Önemi. Sanayi Mineralleri Dergisi, 12(1), 24-35.

Kurtuluş, H. (2016). Kırşehir Masifi'ndeki Nefelinli Siyenitlerin Endüstriyel Potansiyeli ve Geleceği. Endüstriyel Mineraller ve Teknolojisi, 35(2), 45-58.

Lee, Y., Kim, H., & Park, J. (2019). Economical and Efficient Use of Nepheline in Regions with Limited Feldspar Resources. Minerals and Materials Engineering, 22(3), 77-89.

Miller, R. (2015). Mineralogical Characteristics of Sixty Nepheline Syenite Deposits Worldwide. Mineralogy and Geochemistry, 12(2), 100-112.

Özdemir, M. (2005). Alüminyum Oksit ve Alkali Metal Bileşenlerinin Kaynağı Olarak Nefelinli Siyenitler. Kimya ve Mineraller, 33(4), 140-152.

Özdemir, M., & Sevim, F. (2014). Nefelinli Siyenitlerin Alüminyum Üretimindeki Potansiyeli. Mineral İşleme ve Endüstriyel Uygulamalar, 28(3), 89-99.

Öztürk, M. (2005). Nefelinli Siyenitlerin Cam ve Seramik Endüstrisindeki Kullanımı. Sanayi Mineralleri ve Teknolojisi, 22(4), 98-105.

Park, S. (2021). The Advantages of Nepheline in Glass and Ceramic Production Processes. Journal of Ceramic Technology, 52(1), 88-100.

Sağlam, M., Yılmaz, E., & Korkmaz, D. (2020). Kırşehir Masifi'nde Nefelinli Siyenitlerin Mineralojik Özellikleri ve Sanayiye Yönelik Potansiyeli. Mineralojik Araştırmalar Dergisi, 45(3), 12-28.

Smith, J. (2018). The Role of Nepheline in Industrial Applications: A Review of Its Uses in Glass, Ceramics, and Aluminum Production. Industrial Minerals Review, 45(2), 122-135.

Smith, J., Johnson, R., & Williams, P. (2018). Nefelin ve Feldspat: Mineralojik Özellikler ve Endüstriyel Kullanım Alanları. Mineralogical Journal, 54(2), 109-121.

Tüysüz, M. (2001). Nefelinli Siyenitlerin Cam ve Seramik Endüstrilerindeki Kullanımı. Seramik ve Cam Dergisi, 22(4), 134-142.

Yılmaz, H., Demir, T., & Kaplan, M. (2023). Geochronological and petrological constraints on the evolution of the Kırşehir Massif, Central Anatolia, Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, **32**(1), 1–20. https://doi.org/10.3906/yer-2211-10

Yılmaz, K. (2010). Kırşehir Masifi'nde Nefelinli Siyenitlerin Alüminyum Üretimine Uygunluğu. Jeoloji ve Madencilik Dergisi, 58(2), 112-125.

Yılmaz, K., Korkmaz, E., & Demir, F. (2023). Kırşehir Masifi'ndeki Nefelinli Siyenitlerin Kimyasal ve Mineralojik Özellikleri. Endüstriyel Mineraller ve Uygulamaları, 61(1), 55-70.

Yücel, S. (1998). Kırşehir Masifi'nin Jeolojisi ve Mineralojik Özellikleri. Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 30(2), 45-58.

Zhang, L., Li, X., & Wang, T. (2020). Nefelin ve Feldspatın Cam ve Seramik Endüstrilerindeki Rolü: Kimyasal ve Fiziksel Özellikler. Journal of Industrial Minerals, 43(1), 75-88.

Zhang, L., Li, X., & Wang, T. (2020). Substitution of Feldspar with Nepheline in Industrial Applications. Journal of Industrial Materials, 39(1), 56-68.

ESNEK AMBALAJ TÜRLERİNİN YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI VE SEKTÖREL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK EYLEMLERİNİN İNCELENMESİ

COMPARISON OF LIFE CYCLE ASSESMENT OF FLEXIBLE PACKAGING TYPES AND REVIEW OF SECTORAL SUSTAINABILITY ACTIONS

Ülkü YARAN
Student, Yıldız Technical University, Faculty Of Chemical And Metallurgical Engineering, Department Of Chemical Engineering
ORCID ID: 0009-0001-2745-0453

Yasemen KALPAKLI
Assoc. Prof., Yıldız Technical University, Faculty Of Chemical And Metallurgical Engineering, Department Of Chemical Engineering
ORCID ID: 0000-0002-1300-2289

ÖZET

Bu çalışmada, esnek ambalaj malzemelerinin çevresel etkileri ve sürdürülebilirlik kriterlerine uygunlukları değerlendirmektedir. Esnek ambalaj malzemelerinin beşikten kapıya yaşam döngüsü analizi yapılarak hammedde, üretim ve bertaraf süreçlerinden kaynaklanan emisyon salınımları karşılaştırılmıştır. Alüminyum, kağıt, plastik ve kompozit yapıdaki ambalajların çevresel karşılaştırması yapılarak her birinin karbon ayak izi ve geri dönüşüm potansiyeli analiz edilmiştir. Bu karşılaştırma için Türkiyedeki bir ambalaj firmasının farklı ambalaj türlerinin üretimi esnasında ortaya çıkan emisyon değerleri incelenmiştir.

Ayrıca, Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizması (CBAM) çerçevesinde, özellikle karbon yoğun olan alüminyum ambalaj malzemelerinin ihracat ve ithalat süreçlerine etkileri analiz edilmiştir. Bu düzenlemenin ambalaj sektörüne olan etkileri ve düzenlemenin geleceği değerlendirilmiştir.

Avrupa Birliği Ambalaj ve Ambalaj Atıkları Yönetmeliği (PPWR) bağlamında, firmaların yeni düzenlemelere uyum süreçleri, karşılaştıkları zorluklar ve bu regülasyonların sektör üzerindeki kısa ve uzun vadeli etkileri detaylı olarak ele alınmıştır. Yönetmelik kapsamında, özellikle geri dönüşüm oranlarının artırılması, zararlı kimyasalların kullanımının azaltılması ve yeniden kullanım teşvikleri gibi kritik düzenlemelerin, ambalaj üreticileri ve tedarik zinciri üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.

Ambalajların atık yönetimi konusunda ise, döngüsel ekonomi hedefleri doğrultusunda geri dönüşüm süreçlerinin etkinliği ve sektörel uygulamalar değerlendirilmiştir. Plastik, kağıt ve metal gibi farklı ambalaj malzemelerinin geri dönüşüm oranları, bu süreçlerde karşılaşılan teknik ve ekonomik zorluklar, gelişen geri dönüşüm teknolojileri ele alınmıştır.

Son olarak, iklim değişikliğiyle mücadelede ambalaj sektöründe alınan önlemler kapsamında, düşük karbonlu üretim süreçleri, alternatif malzeme kullanımı ve sürdürülebilir tedarik zinciri uygulamaları ele alınarak sektörün geleceğine dair çıkarımlar yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ambalaj, Karbon Ayak İzi, Döngüsel Ekonomi

ABSTRACT

This study evaluates the environmental impacts of flexible packaging materials and their compliance with sustainability criteria. Life cycle assesment of flexible packaging materials from cradle to gate was performed and emission releases originating from raw material, production and disposal processes were compared. The environmental comparison of aluminum, paper, plastic and composite packaging was made and the carbon footprint and recycling potential of each were analyzed. For this comparison, the emission values of a packaging company in Türkiye during the production of different types of packaging were examined.

In addition, within the framework of the Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM), the effects of aluminum packaging materials, which are particularly carbon intensive, on export and import processes were analyzed. The effects of this regulation on the packaging sector and the future of the regulation were evaluated.

In the context of the European Union Packaging and Packaging Waste Regulation (PPWR), the adaptation processes of companies to new regulations, the difficulties they face and the short-term and long-term effects of these regulations on the sector were discussed in detail. Within the scope of the regulation, the effects of critical regulations, especially increasing recycling rates, reducing the use of harmful chemicals and reuse incentives, on packaging manufacturers and the supply chain were evaluated.

Regarding waste management of packaging, the effectiveness of recycling processes and sectoral practices were evaluated in line with circular economy targets. Recycling rates of different packaging materials such as plastic, paper and metal, technical and economic difficulties encountered in these processes, and developing recycling technologies were discussed.

Finally, within the scope of measures taken in the packaging sector to combat climate change, low-carbon production processes, alternative material use and sustainable supply chain practices were discussed and inferences were made regarding the future of the sector.

Keywords: Packaging, Carbon Footprint, Circular Economy

GİRİŞ

Esnek ambalaj, genellikle plastik, metal folyo veya kâğıt gibi esnek malzemelerden üretilen, şekil değiştirebilen ve ürünün şeklini alabilen ambalaj türüdür. Bu tür ambalajlar, ürünlerin tazeliğini korurken, hafiflikleri sayesinde taşımada ve depolamada avantaj sağlar. (ASD, 2025)

Esnek ambalajlar, gıda sektöründe yaygın olarak kullanılır ve ürünlerin raf ömrünü uzatır. Ayrıca, baskı teknolojileri sayesinde markaların ürünlerini tüketicilere etkili bir şekilde tanıtmasına olanak tanır.

AB verilerine göre ambalajların %40'ı plastik, %50'si kağıt malzemeden üretilmekte olup, ambalaj atıkları belediye atıklarının %36'sını teşkil etmektedir. (Commission, 2024)

Son yıllarda, çevresel kaygılar nedeniyle geri dönüştürülebilir ve biyobozunur esnek ambalaj malzemelerinin geliştirilmesine yönelik çalışmalar artmıştır. Biyobazlı plastiklerin toplam küresel üretim kapasitesi 2022 yılında 2,2 milyon tona ulaşmış ve biobazlı plastik üretimi 2010 yılından günümüzü iki kat artmıştır. (agency, 2022)

Bu sayede, esnek ambalajların çevresel etkileri azaltılmaya çalışılmaktadır. Ancak biyobozunur plastik üretimi halen çok düşük paya sahiptir. 2023 yılında 413.8 milyonton olarak gerçekleşen dünya plastik üretiminin yalnızca %1'i biyolojik kaynaklardan elde edilmiştir. (Europe, 2024)

LCA (Yaşam döngüsü analizi), hammadde çıkarımından ürünün kullanım ömrünün sonuna kadar olan yaşam döngüsü aşamalarını dikkate alarak ürünlerin veya süreçlerin tüm çevresel etkilerini ölçmek için kullanılan bir tekniktir. (ISO14064, 2025)

Nisan 2023'te AB, 'Fit for 55' paketini kabul etmiştir. Politika paketi, emisyon sınırının daha hızlı düşürülmesini ve 2025 ile 2034 yılları arasında ücretsiz izinlerin kademeli olarak kaldırılmasını içermektedir. Yerel iklim politikalarının getirilmesinin üretimi ve emisyonları kısmen daha az katı politikalara sahip ülkelere kaydırması nedeniyle karbon sızıntısı konusundaki endişeler yoğunlaşmıştır. Bu riski azaltmak için Avrupa Birliği (AB), belirli emisyon yoğun ticaret maruziyeti olan malların (demir, çelik, çimento, gübre, alüminyum, elektrik ve hidrojen) AB ithalatçılarının, AB Emisyon Ticaret Sistemi (ETS) kapsamındaki izinlerin fiyatına eşit, ithalatlarına gömülü emisyonlar üzerinde bir ödeme gerektirecek Karbon Sınır Düzenleme Mekanizması'nı (CBAM) başlatmıştır. (OECD, 2025)

7607&7606 GTIP Kodları ile ihraç edilen alüminyumlu ambalajlar düzenleme kapsamındadır. 2026 yılı sonrasında gelecek olan mali yükümlülük ambalaj sektörünü de etkileyecektir. Alüminyumlu ürünlerin üzerindeki mali yükü azaltmak için alternatif hammadde kullanımı söz konusu olabilir ancak düzenlemenin ileri yıllarda diğer sektörleri de kapsayacağı göz önünde bulundurularak hareket edilmelidir. (EU, 2023)

Avrupa Birliği'nin yeni Ambalaj ve Ambalaj Atıkları Yönetmeliği (Packaging and Packaging Waste Regulation – PPWR), 2050 iklim hedeflerine ulaşmak amacıyla ambalaj atıklarını azaltmayı, geri dönüşümü artırmayı ve yeniden kullanım sistemlerini yaygınlaştırmayı hedeflemektedir. Bu düzenleme kapsamında firmalar, ürün ambalajlarını eko-tasarım ilkelerine göre yeniden yapılandırmak, aşırı ambalajdan kaçınmak ve kullanılan malzemelerin geri dönüştürülebilirliğini artırmak gibi birçok alanda dönüşüm süreciyle karşı karşıyadır. PPWR, ambalajların yeniden kullanılabilir olması, geri dönüştürülmüş içerik oranlarının belirtilmesi ve tüm ambalajların standardize edilmiş etiketleme sistemiyle tüketiciye sunulması gibi yeni yükümlülükler getirmektedir. Bu durum, firmalar için hem teknolojik altyapı yatırımlarını hem de yasal raporlama süreçlerini önemli ölçüde artırmaktadır. (PPWR, 2022)

Uyum sürecinde firmalar, uygun malzeme bulma zorlukları, yeniden kullanım sistemleri için lojistik altyapı eksikliği ve artan maliyetlerle karşı karşıyadır. Ayrıca PPWR, CBAM ve Sürdürülebilir Ürün Yönetmeliği gibi diğer çevresel regülasyonlarla paralel ilerlediği için, şirketler bu regülasyonların kesişiminde karmaşık bir uyum süreci yürütmektedir. Kısa vadede bu durum firmalar için maliyet artışları, üretim süreçlerinde gecikmeler ve belirsizlikler yaratmaktadır. Uzun vadede ise, düzenlemenin sektörü daha verimli, düşük karbonlu ve döngüsel iş modellerine dayalı bir yapıya kavuşturması beklenmektedir. Geri dönüşüm altyapısının gelişmesi, malzeme optimizasyonu ve yeniden kullanım sistemlerinin yaygınlaşması ile birlikte firmaların çevresel ayak izi azalırken, sürdürülebilirlik performansı da artacaktır. Ayrıca AB pazarına ihracat yapmak isteyen üçüncü ülke firmaları da bu standartlara uyum sağlamak zorunda kalacak, bu da PPWR'yi küresel ölçekte bir referans düzenleme haline getirecektir.

Alüminyum, geri dönüşüm açısından en avantajlı malzeme olarak öne çıkarken; kağıt, yaygın altyapı sayesinde yüksek oranda geri dönüştürülmektedir. (Cepi, 2024) Plastik ise karmaşık yapısı ve düşük ekonomik değeri nedeniyle geri dönüşümde en fazla zorluk yaşanan malzemedir. (Ellen MacArthur Foundation, 2025) Ancak tüm malzemelerde tasarımda geri dönüşüm ilkeleri gözetildiğinde geri dönüşüm oranları ve verimliliği artırılabilir. Tablo 1'de karşılaştırmalı analiz olarak verilmiştir. (EUROSTAT, 2025)

Tablo 1 Ambalaj Hammaddeleri Geri Dönüşüm Potansiyelleri

Özellik	**Alüminyum**	**Plastik**	**Kâğıt**
Geri dönüşüm oranı (AB)	%75+	%40 civarı	%80 civarı
Enerji verimliliği	Çok yüksek	Orta	Yüksek
Kalite kaybı	Yok	Genellikle var	Kısmi
Teknik zorluklar	Laminasyon	Ayrıştırma zorluğu	Kaplama, kontaminasyon
Ekonomik değer	Yüksek	Düşük-orta	Orta
Döngüsel ekonomi uyumu	Yüksek	Düşük-Orta	Yüksek

Ambalaj malzemelerinin yaşam döngüsü değerlendirmelerinde; her bir malzeme için değer zincirinde belirlenen çevresel sorunları ve çevresel sonuçlar konusunda belirsizliğe işaret eden ve olası düzeltici eylemleri sınırlayan bilgi veya veri boşlukları Tablo 2'de özetlemektedir. (WWF-UK, 2021)

Tablo 2 Ambalaj Malzemeleri Çevresel ve Tedarik Zinciri Şeffaflığı Önemli Noktaları

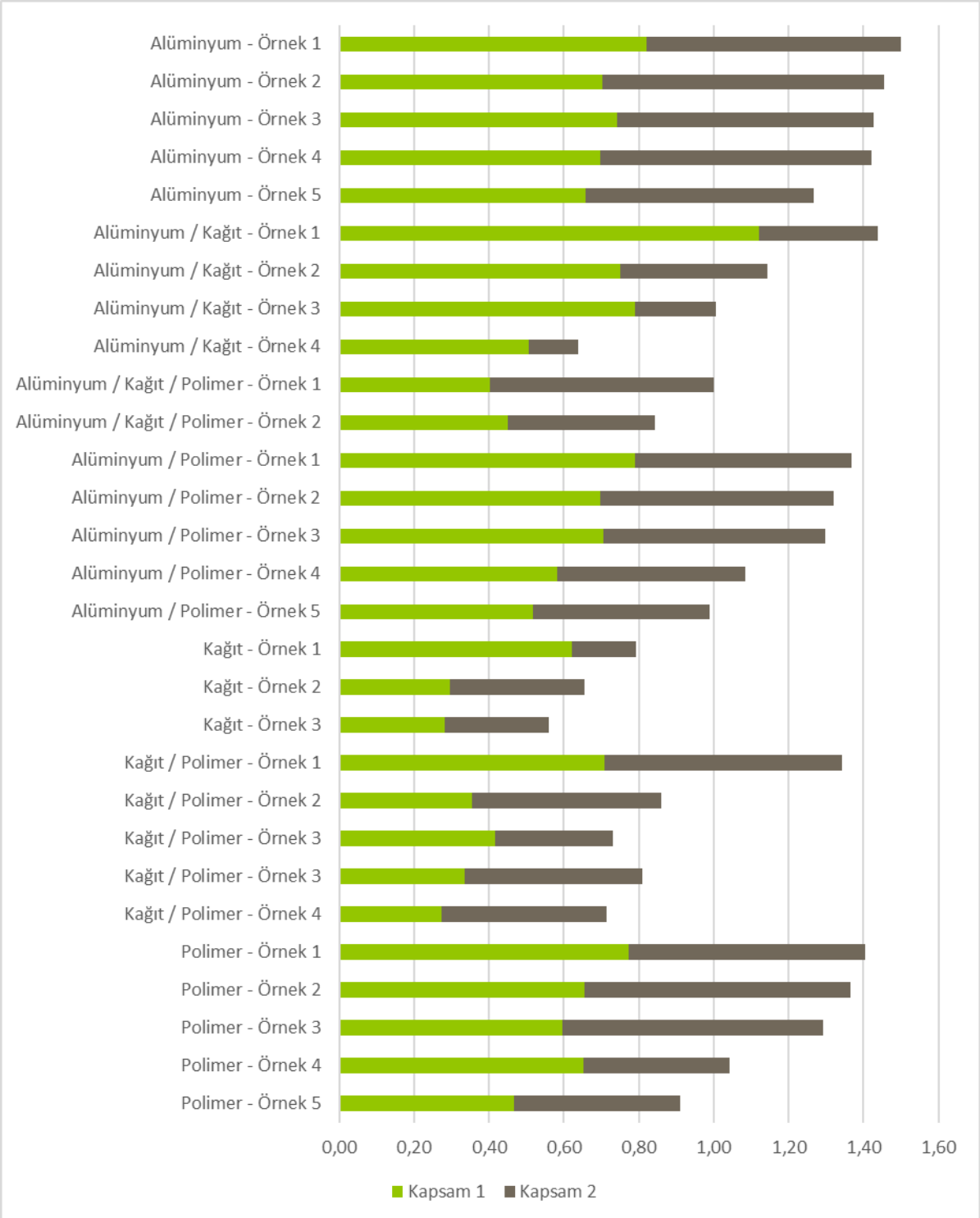
YAŞAM DÖNGÜSÜ AŞAMASI	ALÜMİNYUM	KAĞIT	PLASTİK
TASARIM	Alüminyum folyolar genellikle geri kazanılması ve geri dönüştürülmesi muhtemel olmayan ürünlerde kullanılır. Genellikle kaplama olarak kullanılan polimerler geri dönüşüm sırasında geri kazanılmaz.	Kağıt, plastiklerin yerine giderek daha uygunsuz bir şekilde kullanılıyor ve polimerler hâlâ çoğu zaman 'gizli' bir bariyer tabakası olarak talep edilmekte.	Plastik, kullanım ömrü sonunda geri kazanılıp geri dönüştürülemeyen uygulamalarda sıklıkla belirtilir.
HAMMADDE ÇIKARMA	Madencilik etkilerine ilişkin konum-özel veri bulunmamaktadır; yerel ekosistem etkilerinin konuma bağlı olarak değişmesi muhtemeldir. Madenciliğin sosyal etkisine ilişkin endişeler vardır.	Diğer kaynak bölgeleriyle karşılaştırıldığında, Güney Amerika'dan ithal edilen küçük hacimli odun için yerel ekosistem etkilerinin orantısız bir şekilde yüksek olması muhtemeldir. Hamurlaştırma, en büyük çevresel etkiye sahip aşamadır.	Petrokimyasal çıkarma ve işleme etkilerine ilişkin konum-özelinde veri bulunmaması, dünyanın farklı bölgelerinde üretilen plastikle ilişkili belirli etkilerin belirlenmesini zorlaştırmaktadır.
HAMMADDE İŞLEME VE ÜRETİM	Eritme enerji kaynaklarındaki coğrafi farklılıklar ve ortaya çıkan etkiler iyi anlaşılmıştır. Eritme yeri, alüminyum üretiminin genel etkisini belirleyen en önemli faktördür.	Kağıt hamuru, en büyük çevresel etkiye sahip aşamadır. Konuma özgü veriler kolayca elde edilemez.	Şişeler için toplama ve ayırma iyi kurulmuş durumda ancak diğer tüketici plastikleri için henüz bilinmiyor.
ATIK TOPLAMA	Kutular için toplama ve ayırma işlemi iyi bir şekilde kurulmuş, ancak folyolar için henüz bilinmiyor.	Toplama ve sınıflandırma iyi yerleşmiştir.	Şişeler için toplama ve ayırma iyi kurulmuş durumda ancak diğer tüketici plastikleri için henüz bilinmiyor.
ATIK İŞLEME	Alüminyumun yeniden eritilmesi yaygındır ve alüminyum tedarik zincirine entegre edilmiştir. Alüminyum kutular genellikle kaliteyi korumak için diğer alüminyum akışlarından ayrı tutulur.	Kağıt/karton geri dönüşümü birincil malzeme sürecinin ayrılmaz bir parçasıdır. Birleşik Krallık, ithal edilen kağıdın yerel üretime göre orantısız miktarı nedeniyle tüm kağıdını geri dönüştüremez, bu da kapasitenin sınırlı olduğu anlamına gelir.	Geri dönüşüm genellikle PET şişeler için gerçekleşir ancak diğer ambalaj türleri için çok sınırlıdır ve birincil üretime verimli bir şekilde entegre edilmez. Plastik geri dönüşüm süreçleriyle ilgili veriler sınırlıdır.

ARAŞTIRMA ve BULGULAR

Tablo 3'de Türkiyede faaliyet gösteren bir ambalaj firmasında üretilen farklı esnek ambalaj malzemelerinin üretimi esnasında ortaya çıkan emisyon değerleri karşılaştırılmıştır. Kapsam 1 emisyon değeri sabit yanma (Doğalgaz tüketimi), Kapsam 2 emisyon değeri satın alınan

elektrik verileri ile hesaplanmıştır. Tablo 3'de yer alan emisyon verileri ambalaj malzemesinin ton başına ortaya çıkardığı emisyonlardır.

Tablo 3 Farklı Ambalajların Emisyon değerlerinin Karşılaştırılması



Tablo 4 ise örneklem alınan bu ambalaj malzemelerinin yapı özelliklerini ve geri dönüşüm potansiyellerini karşılaştırmaktadır. Ambalaj malzemeleri üretimi sonrasında ürün paketlemesi yapılmak üzere önce son üreticiye, paketlemenin tamamlanması sonrasında da

son tüketiciye ulaşmaktadır. Geri dönüşüm sürecinin tamamlanması için ambalaj malzemesinin kullanımı sonucunda son tüketici tarafından geri dönüşüm döngüsüne katılması gerekir.

Tablo 4 Ambalaj Malzemeleri ve Özellikleri

Malzeme	***Yapı Özelliği***	***Geri Dönüşüm Potansiyeli***
Alüminyum - Örnek 1	Baskı ve Lak uygulanmış	Geri Dönüşüme Uygun
Alüminyum - Örnek 2	Baskı ve Lak uygulanmış	Geri Dönüşüme Uygun
Alüminyum - Örnek 3	Lak uygulanmış	Geri Dönüşüme Uygun
Alüminyum - Örnek 4	Baskı uygulanmış	Geri Dönüşüme Uygun
Alüminyum - Örnek 5	Baskı uygulanmış	Geri Dönüşüme Uygun
Alüminyum / Kağıt - Örnek 1	2 katlı	Geri Dönüşüme Uygun Değil
Alüminyum / Kağıt - Örnek 2	2 katlı ve Baskı uygulanmış	Geri Dönüşüme Uygun Değil
Alüminyum / Kağıt - Örnek 3	2 katlı ve Lak uygulanmış	Geri Dönüşüme Uygun Değil
Alüminyum / Kağıt - Örnek 4	2 katlı ve Lak uygulanmış	Geri Dönüşüme Uygun Değil
Alüminyum / Kağıt / Polimer - Örnek 1	3 katlı ve Baskı uygulanmış	Geri Dönüşüme Uygun Değil
Alüminyum / Kağıt / Polimer - Örnek 2	3 katlı ve Baskı uygulanmış	Geri Dönüşüme Uygun Değil
Alüminyum / Polimer - Örnek 1	2 katlı ve Lak uygulanmış	Geri Dönüşüme Uygun Değil
Alüminyum / Polimer - Örnek 2	3 katlı ve Baskı uygulanmış	Geri Dönüşüme Uygun Değil
Alüminyum / Polimer - Örnek 3	4 katlı ve Baskı uygulanmış	Geri Dönüşüme Uygun Değil
Alüminyum / Polimer - Örnek 4	3 katlı ve Baskı uygulanmış	Geri Dönüşüme Uygun Değil
Alüminyum / Polimer - Örnek 5	3 katlı ve Baskı uygulanmış	Geri Dönüşüme Uygun Değil
Kağıt - Örnek 1	Lak uygulanmış	Geri Dönüşüme Uygun
Kağıt - Örnek 2	Baskı uygulanmış	Geri Dönüşüme Uygun
Kağıt - Örnek 3	Baskı uygulanmış	Geri Dönüşüme Uygun
Kağıt / Polimer - Örnek 1	2 katlı ve Lak uygulanmış	Geri Dönüşüme Uygun Değil
Kağıt / Polimer - Örnek 2	2 katlı ve Baskı uygulanmış	Geri Dönüşüme Uygun Değil
Kağıt / Polimer - Örnek 3	2 katlı ve Baskı uygulanmış	Geri Dönüşüme Uygun Değil
Kağıt / Polimer - Örnek 3	2 katlı ve Baskı uygulanmış	Geri Dönüşüme Uygun Değil
Kağıt / Polimer - Örnek 4	2 katlı ve Baskı uygulanmış	Geri Dönüşüme Uygun Değil
Polimer - Örnek 1	2 katlı ve Baskı uygulanmış	Geri Dönüşüme Uygun
Polimer - Örnek 2	Baskı uygulanmış	Geri Dönüşüme Uygun
Polimer - Örnek 3	Baskı ve Lak uygulanmış	Geri Dönüşüme Uygun
Polimer - Örnek 4	2 katlı ve Baskı uygulanmış	Geri Dönüşüme Uygun
Polimer - Örnek 5	2 katlı ve Baskı uygulanmış	Geri Dönüşüme Uygun

Tablo 3 ve Tablo 4'de yer alan veriler ile farklı malzeme kombinasyonlarının karbon emisyonlarını ve geri dönüşüm potansiyelleri karşılaştırılmıştır. Genel olarak, alüminyum bazlı ambalajlar geri dönüşüme uygun olma eğiliminde olsa da emisyon seviyeleri değişkenlik gösterir. Özellikle çok katmanlı ve farklı malzemelerden oluşan yapılar, hem yüksek emisyon değerlerine sahip hem de geri dönüşüme uygun değil. Örneğin, Alüminyum/Kağıt - Örnek 1 ve Alüminyum/Polimer - Örnek 1 en yüksek emisyon değerlerine sahipken, Kağıt - Örnek 3 ve Kağıt - Örnek 2 gibi ambalajlar en düşük emisyon seviyelerini sergilemektedir.

Geri dönüşüm açısından bakıldığında, genellikle tek bileşenli veya az işlem görmüş malzemeler daha avantajlıdır. Alüminyum ve kağıt bazlı ambalajlar geri dönüşüme daha uygunken, çok katmanlı ve polimer bazlı malzemeler geri dönüşüm sürecinde problem yaratmaktadır. Özellikle Alüminyum/Kağıt/Polimer kombinasyonları, hem yüksek emisyon seviyelerine sahip hem de geri dönüşüm için elverişli değil. Bu veriler doğrultusunda, sürdürülebilir bir ambalaj tasarımı için kağıt bazlı çözümlere yönelmek emisyonları azaltmak açısından avantaj sağlayabilir. Aynı zamanda, geri dönüşüm oranlarını artırmak için çok katmanlı ve farklı malzemelerden oluşan yapılar yerine, monomalzemeli ambalajlar tercih edilmelidir.

Tablo 5'te Esnek ambalaj üretiminde kullanılan metal, polimer ve kağıt esaslı hammaddelerin birincil malzeme üretiminden ve kapalı çevrim kaynaklı üretimde ortaya çıkan emisyon verileri 1 ton ürün üretiminde ortaya çıkan kg CO2e biriminde karşılaştırılımıştır. (GOV.UK, 2025)

Tablo 5 Ambalaj için kullanılan hammaddelerin üretimi aşaması emisyon değerleri

Etkinlik	Malzeme	Birim	Birincil malzeme üretimi	Kapalı çevrim kaynak
			kg CO_2e	kg CO_2e
Metal	Metal: alüminyum kutular ve folyo (şekillendirme hariç)	ton	9106.92	990.48
Plastik	Plastikler: ortalama plastik film	ton	2910.47	1094.59
	Plastikler: PET (şekillendirme dahil)	ton	3854.92	2204.92
	Plastikler: PP (şekillendirme dahil)	ton	2568.59	1303.59
Kağıt	Kağıt ve karton: kağıt	ton	1339.32	1044.32

Tablo 5'te ambalaj üretiminde kullanılan farklı hammaddelerin üretim aşamasındaki emisyon değerlerini karşılaştırmaktadır. Metal, plastik ve kağıt gibi malzemelerin birincil üretim süreçlerinde ve kapalı çevrim kaynak kullanımında ortaya çıkan karbon emisyonları (kg CO_2e) detaylandırılmıştır. En yüksek emisyon değerine sahip malzeme, 9106.92 kg CO_2e ile alüminyum kutular ve folyodan oluşan metal grubudur. Ancak, kapalı çevrim kaynak kullanıldığında bu değer 990.48 kg CO_2e'ye kadar düşmektedir, yani geri dönüşüm önemli ölçüde emisyon azaltımı sağlamaktadır.

Plastik malzemeler arasında en yüksek emisyon değeri 3854.92 kg CO_2e ile PET plastikler olup**,** bunu ortalama plastik film (2910.47 kg CO_2e) ve PP plastikler (2568.59 kg CO_2e) takip etmektedir. Kapalı çevrim kaynak kullanıldığında, PET için emisyon 2204.92 kg CO_2e seviyesine inerken, PP ve ortalama plastik filmde emisyon değerleri sırasıyla 1303.59 kg CO_2e ve 1094.59 kg CO_2e olarak kaydedilmiştir. Bu durum, PET geri dönüşümünün diğer plastik türlerine kıyasla daha fazla karbon azaltımı sağladığını göstermektedir.

Kağıt bazlı malzemeler, birincil üretimde 1339.32 kg CO_2e emisyon üretirken, kapalı çevrim kaynak kullanımında bu değer 1044.32 kg CO_2e'ye düşmektedir. Bu durum, kağıdın geri dönüşüm sürecinde emisyon azaltımı sağladığını ancak diğer malzemeler kadar büyük bir fark yaratmadığını göstermektedir.

Tablo 6'da ise metal, plastik ve kağıt ambalaj malzemelerinin kullanım sonu değerlendirmesinden kaynaklana emisyon değerleri kgCO_2e biriminde karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. (GOV.UK, 2025)

Tablo 6 Ambalaj Malzemelerinin Kullanım Sonu Değerlendirmesi Emisyon Değerleri

Etkinlik	Atık türü	Birim	Açık Çevrim	Kapalı Çevrim	Yanma	Kompostlama	Düzenli Depolama
			kg CO_2e	kg CO_2e	kg CO_2e	kg CO_2e	kg CO_2e
Metal	Metal: alüminyum kutular ve folyo (şekillendirme hariç)	ton	6.4106	6.4106	6.4106		8.8839
Plastik	Plastikler: ortalama plastik film	ton	6.4106	6.4106	6.4106		8.8839
Kağıt	Kağıt ve karton: kağıt	ton		6.4106	6.4106	8.8839	1164.3902

Genel olarak, metal üretimi en yüksek emisyon değerlerine sahipken, geri dönüşüm süreci ile emisyonların ciddi oranda azaldığı görülmektedir. Plastikler içinde PET en yüksek emisyon değerine sahip olsa da kapalı çevrim kaynak kullanımında önemli bir azalma sağlanmaktadır. Kağıt ise en düşük birincil üretim emisyonuna sahip olmakla birlikte, geri dönüşümle emisyon azaltımı daha sınırlıdır. Bu veriler, sürdürülebilir ambalaj tasarımında geri dönüşümün önemini ve farklı malzemelerin karbon ayak izi üzerindeki etkisini vurgulamaktadır.

SONUÇ

Ambalaj sektöründe sürdürülebilirlik hem çevresel hem de ekonomik açıdan giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Bu doğrultuda, hammadde seçimi ve geri dönüştürülebilirlik, ambalaj tasarımında belirleyici faktörler arasında yer almakta olup, düşük karbon ayak izine sahip, biyobazlı veya geri dönüştürülebilir malzemeler ön plana çıkmaktadır. Özellikle fosil bazlı plastiklerin yerine yenilenebilir veya geri dönüştürülmüş içerikli malzemeler kullanmak, döngüsel ekonomi prensiplerine uyum sağlarken, karbon emisyonlarını da önemli ölçüde azaltmaktadır. Ambalaj yönetmeliği gibi düzenlemeler, sürdürülebilir malzeme kullanımını

teşvik ederken, firmaların yeni üretim süreçlerine adapte olmalarını da zorunlu hale getirmektedir. CBAM (Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizması**)** ise, Avrupa pazarına ihracat yapan ambalaj üreticileri için karbon maliyetlerini artırarak, düşük karbonlu üretim süreçlerine olan ilgiyi artırmaktadır.

Bu gelişmeler ışığında, ambalaj sektöründe yenilikçi sürdürülebilir çözümler büyük bir ivme kazanmıştır. Gelişmiş geri dönüşüm teknolojileri, biyobazlı ve kompostlanabilir malzemeler, karbon-nötr üretim teknikleri gibi çözümler hem regülasyonlara uyumu sağlamakta hem de markaların çevresel sorumluluklarını yerine getirmesine katkıda bulunmaktadır. Ancak, bu dönüşüm sürecinde, ambalajın tüm yaşam döngüsü boyunca çevresel etkilerini analiz etmek büyük önem taşımaktadır. LCA, hammaddeden nihai bertarafa kadar her aşamadaki çevresel etkileri hesaplayarak, firmalara bilimsel ve veri odaklı kararlar almaları için kritik bir yol gösterici olmaktadır. Sonuç olarak, ambalaj sektöründe sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak için, regülasyonlara uyum sağlamak, yenilikçi çözümler geliştirmek ve yaşam döngüsü analizi ile çevresel etkileri ölçmek kaçınılmaz hale gelmiştir.

İklim değişikliğiyle mücadele kapsamında ambalaj sektöründe önemli dönüşümler yaşanmakta olup bu dönüşüm üç temel alanda yoğunlaşmaktadır: düşük karbonlu üretim süreçleri, alternatif malzeme kullanımı ve sürdürülebilir tedarik zinciri uygulamaları. Üretim süreçlerinde, özellikle enerji yoğun ambalaj malzemelerinin (örneğin alüminyum ve cam) üretiminde yenilenebilir enerji kullanımı artmakta, enerji verimliliği sağlayan sistemler (ısı geri kazanım, proses optimizasyonu gibi) entegre edilmekte ve karbon ayak izinin azaltılmasına yönelik çözümler geliştirilmektedir. Avrupa Komisyonu'nun Sürdürülebilir Ürünler Yönetmeliği (Ecodesign for Sustainable Products Regulation) gibi düzenlemeleri bu dönüşümü desteklemekte ve üreticileri süreç bazlı emisyonlarını şeffaf biçimde raporlamaya zorunlu kılmaktadır.

Alternatif malzeme kullanımı da sektörün düşük karbon stratejilerinde merkezi bir yer tutmaktadır. Geleneksel fosil bazlı plastiklerin yerine geri dönüştürülmüş plastik (örneğin rPET), biyobazlı polimerler, kompostlanabilir materyaller ve tek katmanlı (monomateryal) yapılar gibi çevre dostu seçeneklere yönelim hızlanmaktadır. Gıda ile temasta kullanılabilen kâğıt, karton ve biyoplastik çözümler de artan biçimde tercih edilmektedir. Ancak bu alternatiflerin her biri, yaşam döngüsü analizleri (LCA) ile iklim etkisi açısından değerlendirilmelidir; çünkü doğal kaynaklı bir malzeme her zaman daha düşük karbon ayak izine sahip olmayabilir.

Sürdürülebilir tedarik zinciri uygulamaları ise ambalaj sektörünün karbon salımlarını azaltmada tamamlayıcı bir rol oynamaktadır. Firmalar artık tedarikçilerini düşük emisyonlu üretim yapan, çevresel sertifikalara sahip kaynaklardan seçmeye özen göstermekte ve karbon muhasebesi uygulamalarıyla tedarik zincirindeki etkilerini ölçmektedir. Genişletilmiş Üretici Sorumluluğu (EPR) sistemleri ile üreticiler, ambalajlarının kullanım sonrası atık yönetiminden de sorumlu hale gelmektedir. Ayrıca, lojistik kaynaklı emisyonları azaltmak

amacıyla yerel tedarikçilere yönelim ve dijital izlenebilirlik sistemlerinin (örneğin blockchain tabanlı çözümler) kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır.

Tüm bu önlemler, ambalaj sektörünün Avrupa Yeşil Mutabakatı, PPWR (Ambalaj ve Ambalaj Atıkları Yönetmeliği), CBAM ve Ecodesign gibi regülasyonlara uyumunu kolaylaştırmakta ve sektörü daha rekabetçi, şeffaf ve çevre dostu bir yapıya taşımaktadır. Uzun vadede bu dönüşüm yalnızca karbon salımlarını azaltmakla kalmayacak, aynı zamanda markalara tüketici nezdinde itibar ve sürdürülebilirlik temelli rekabet avantajı da kazandıracaktır.

KAYNAKÇA

agency, e. e. (2022). *Global bio-based plastics production capacity*. european environment agency: https://www.eea.europa.eu/en/circularity/sectoral-modules/plastics/global-bio-based-plastics-production-capacity adresinden alındı

ASD. (2025, Şubat 21). *Ambalaj Sanayicileri Derneği*. Türkiye Ambalaj Sektörü Raporu 2023: https://ambalaj.org.tr/tr/turkiye-ambalaj-sektoru-raporu-2023 adresinden alındı

Cepi. (2024). *Preliminary Statistic 2024.* CEPİ.

Commission, E. (2024, Mayıs 12). *A European Strategy for Plastics in a Circular Economy.* Energy, Climate change, Environment: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/international-action-climate-change/global-climate-action_en adresinden alındı

Ellen MacArthur Foundation. (2025, Mart 27). *It's time for a circular economy*. It's time for a circular economy: https://www.ellenmacarthurfoundation.org/ adresinden alındı

EU, C. (2023). *REGULATION (EU) 2023/956 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL.* European Commission.

Europe, P. (2024). *The Circular Economy for Plastics.* Plastic Europe.

EUROSTAT. (2025, Mart 27). *https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Packaging_waste_statistics*. Packaging waste statistics: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Packaging_waste_statistics adresinden alındı

GOV.UK. (2025, Ocak 1). Greenhouse gas reporting: conversion factors 2024: https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2024 adresinden alındı

ISO14064. (2025, Mart 27). *Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework*. ISO 14064: https://www.iso.org/standard/37456.html adresinden alındı

OECD. (2025). *Carbon Border Adjustments: The potential effects of the EU CBAM along the supply chain.* Paris: OECD.

PPWR. (2022). *packaging and packaging waste, amending Regulation (EU) 2019/1020 and Directive (EU) 2019/904, and repealing Directive 94/62/EC.* EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL.

WWF-UK, T. (2021). *Paketlenmemiş Ambalaj, İngiltere'nin Ambalaj Tüketimiyle İlgili Küresel Malzeme Akışlarının Çevresel Etkilerinin Araştırması.* WWF.

TREATMENT OF PAPER INDUSTRY WASTEWATER BY COAGULATION-FLOCCULATION PROCESS

Inci KARAKAS
Assistant Professor, Uskudar University, Vocational School of Health Services, Department of Environmental Health
ORCID ID: 0000-0002-3590-3395

ABSTRACT

The United Nations (UN) has established 17 economic, social and environmental Sustainable Development Goals in relation to the 2030 Sustainable Development Goals. The Clean Water and Sanitation Goal aims to solve problems related to access to clean water, adequate sanitation and efficient management of water resources. As human life becomes easier with developing technology, increasing industrialisation and urbanisation, the amount of wastewater increases and water resources are polluted when treatment is not provided effectively. As a result of direct discharge of these wastewaters to surface waters, a great threat to the environment occurs. Paper industry wastewater is the third largest industrial wastewater producer in the world, producing approximately 42% of global industrial wastewater. These wastewaters contribute to increasing pollution due to high organic pollution and toxic components.

In this study, pH, Chemical Oxygen Demand (COD), Total Nitrogen (TN), Total Phosphorus (TP), Zinc (Zn) and Cyanide (CN) analyses were performed in samples taken from real paper manufacturing industry wastewater. The removal of pollutants was investigated by coagulation-flocculation process. Suitable pH and chemical doses were investigated by jar test applied in coagulation-flocculation process. The chemicals applied in the jar test included iron III chloride ($FeCl_3$), lime $Ca(OH)_2$ and anionic polyelectrolyte $(NH_4)_2S_2O_8$. The removal efficiencies obtained as a result of the study were COD: 85%; TN: 60%; TP: 65%; Zn: 99% and Cn: 99%. Different treatment processes should be investigated to obtain high TN and TP removal rates. Although it was found that coagulation-flocculation can remove almost all of the toxic components, it will be important to investigate the removal of real paper production industry wastewater with natural coagulants for the protection of environment and human health and sustainability.

Keywords: Paper Industry Wastewater, Coagulation-Flocculation Process, Wastewater Treatment.

INTRODUCTION

The United Nations determined 17 Sustainable Development Goals (SDGs) in 2015. Key themes included “Ending Poverty”, “Tackling Inequality and Injustice” and “Struggling

Climate Change" the goals are to be achieved by the end of 2030 (Parra-Saldivar et al. 2020; Pereira et al. 2024). "Clean Water and Sanitation" refers to the goal of securing accessible water and wastewater services and sustainable water management for all (Wagner et al. 2019). With the increasing population, increasing industrialization and technological advancement, a large amount of water is used. Due to the inadequacy of potable water resources, it is important to reuse the used water by treating it in treatment plants. Wastewater discharged into the receiving environment without treatment poses a great environmental risk to aquatic ecosystems. Industrial wastewater contains a wide range of pollutants such as organic pollutants and heavy metals (Wang et al. 2016; Goli et al. 2019). The paper industry is one of the industries with high water consumption (Jiang et al. 2017; Mainardis et al. 2022). A large amount of hazardous wastewater is generated in the paper industry wastewater due to various chemicals used depending on the production steps (Kumar and Sharma, 2020). A variety of compounds are formed in paper industry wastewater during wood digestion, bleaching and papermaking processes (Singh et al., 2022). Paper industry wastewater contains high concentrations of organic matter, colorant compounds and toxic compounds that pose problems for treatment processes (Xu et al. 2012).

In present study, the real wastewater was taken from the paper industry in Istanbul. The treatability of wastewater by coagulation-flocculation process was investigated using $FeCl_3$, $Ca(OH)_2$ and anionic polyelectrolyte $(NH_4)_2S_2O_8$. COD, pH, TN, TP, Zn and CN parameters were monitored in wastewater. The removal efficiencies of pollutants were investigated.

MATERIALS AND METHOD

Sample collection

The wastewater used in the experiments were obtained from the paper industry wastewater in Istanbul (Türkiye). Samples were taken twice a week and a total of 4 liters of composite samples were created, half a liter sample per hour. The obtained wastewater from the balancing tank in metal plating and stored at 4 ^{o}C in refrigerator before the experiments.

Coagulation-flocculation jar test procedure

Coagulation-flocculation study was carried out under laboratory conditions (24 ^{o}C) using a jar test device. During the research, 150 mL wastewater volume was used in each set. In the jar test, the appropriate initial pH was adjusted using HCl and NaOH. The removal of wastewater was investigated by adding appropriate doses of coagulant. In the coagulation step, the reaction time was limited to 3 minutes and the process was continued at a stirring speed of 120 rpm (El Gaayda et al. 2023). The flocculation process was carried out at a mixing speed of 30 rpm with a contact time of 10 minutes (Kılıc et al. 2023). The precipitation step was determined as 45 minutes and at the end of the process, samples were taken from the upper phase. Chemical Oxygen Demand (COD), pH, Total Nitrogen (TN), Total Phosphorus (TP), Zinc (Zn) and Cyanide (CN) were analyzed in samples taken from real paper industry wastewater. The concentrations of coagulant to be used in the influent wastewater and the

optimum pH values were determined at three different sets by Jar test. In the paper industry wastewater, 5% $Ca(OH)_2$, 40% $FeCl_3$ and 0.1% $(NH_4)_2S_2O_8$ was used for coagulation-flocculation. Table 1 shows the chemicals, doses and pH values applied in the jar test.

Table 1. Coagulants used in the study, effective volume, doses and pH values.

		Doses			**pH values**		
		Set 1	Set 2	Set 3	**Set 1**	Set 2	Set 3
	Effective volume in sets	**(150 mL)**	(150 mL)	(125 mL)	**(150 mL)**	(150 mL)	(125 mL)
Coagulants and Chemicals	$FeCl_3$ (mL)	**0.5**	0.46	0.6	**8.4**	7.98	8.25
	$(NH_4)_2S_2O_8$ (g)	**0.001**	0.003	0.002	**8.1**	7.98	8.4
	$Ca(OH)_2$ (g)	**0.2**	0.36	0.44	**11.5**	7.5	11.8

Chemicals used: $Ca(OH)_2$: 0.2 g; it was used at the specified concentration, $FeCl_3$: 0.5 mL and $(NH_4)_2S_2O_8$: 0.001 g, and at a pH value between 8.1-11.5 The percentage removal efficiency (E) was calculated according to the equation:

$$E\ (\%) = (C_0 - C)/ C_0 * 100 \quad (1)$$

where: C_0 and C are, respectively, the initial and final values, as determined in raw wastewater (influent) and decanted supernatant liquid after coagulation-flocculation (effluent).

Characterization

The pH was measured using a pH meter device. COD (K-7365), TN (TR-TN), TP (TR-TP), Zn (LCK-360) and CN (LCK-315) were carried out with Hach test kits.

RESULTS AND DISCUSSION

The parameters and concentrations monitored in paper industry wastewater vary according to the process and the studies are summarized in Table 2.

Table 2. Paper industry wastewater characteristics.

Parameters						**References**
pH	**COD (mg/L)**	**TN (mg/L)**	**TP (mg/L)**	**Zn (mg/L)**	**CN (mg/L)**	
7.68	543	-	-	0.0945	-	(Kumar et al. 2020b)
7.41	4103	47.52	105	-	-	(Jagaba et al. 2022)
6.82	807	-	-	0.057	-	(Kumar et al. 2022)
7.93	1020	-	127	-	-	(Iftikhar et al. 2023)
6.94	955	562	1.20	0.04	-	(Ngerem et al. 2025)
5.3	3052	238	<0.05	-	-	(Chen et al. 2025)
-	26388	-	-	-		(Tang et al. 2025)
8.39	**4380**	**170**	**7.5**	**11.5**	**11**	**Present Study**

The best removal efficiency among all jar tests was achieved with the chemical concentrations applied in set 1. In paper industry wastewater, 5% $Ca(OH)_2$, 40% $FeCl_3$ and 0.1% $(NH_4)_2S_2O_8$ were used in coagulation-flocculation. In the coagulation-flocculation process, 0.5 mL $FeCl_3$, 0.2 g $Ca(OH)_2$ and 0.001 g $(NH_4)_2S_2O_8$ were applied in Table 1 and Set 1, respectively.

COD, pH, TN, TP, Zn and CN parameters were monitored in real paper industry influent wastewater. In the literature, COD concentration was determined between 543 mg/L and 26.388 mg/L. In the study, COD concentration was found to be 4380 mg/L, which is in accordance with the literature. While the highest pH value measured in the literature was 7.93 (Iftikhar et al. 2023), this value was measured as 8.39 in the study. In a study in 2025, TN concentration was determined as 238 mg/L (Chen et al. 2025). In the present study, TN concentration was found to be 170 mg/L. TP content was found in different concentration ranges in the literature (0.05 mg/L - 127 mg/L). In the present study, TP concentration was found to be 7.5 mg/L. It was observed that TP concentration was within the ranges determined in the literature. Depending on the process used, heavy metals may be present in varying concentrations in paper industry wastewater. As seen in Table 2, Zn concentration was found to be 11.5 mg/L and the highest concentration was found in the present study. While CN concentration in paper industry wastewater was not monitored in the literature, this value was found to be 11 mg/L in the present study. Also, figure 1 shows images of the jar test.

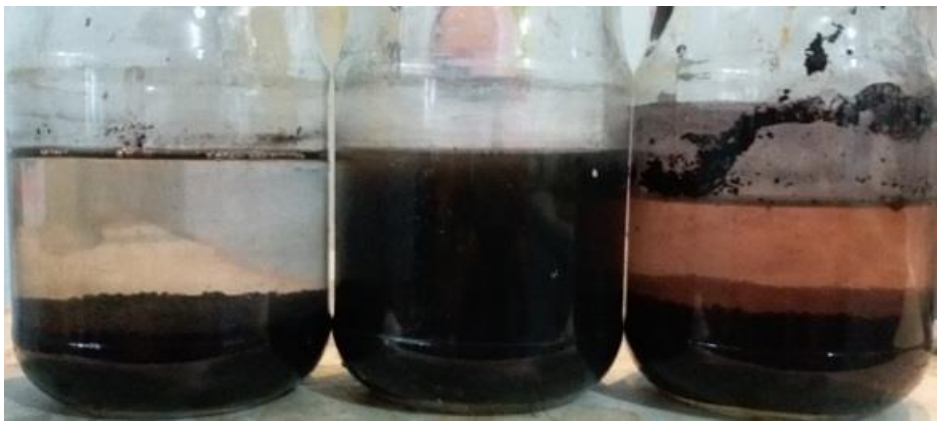


Figure 1. Jar test images.

Table 2. Removal efficiencies of pollutants.

Parameters	**Removal Rate (%)**
COD (mg/L)	85
TN (mg/L)	60
TP (mg/L)	65
Zn (mg/L)	99
CN (mg/L)	99

There is no coagulation-flocculation process in the literature for the removal of pollutant parameters in paper industry wastewater, and studies evaluating organic and inorganic pollutant removal together are limited. In a study investigating the removal of paper industry

wastewater by electrocoagulation process, COD removal was found to be 68% (Kumar et al. 2022). In another study where paper industry wastewater was treated using reverse osmosis, COD removal was found to be 97.8% (Chen et al. 2025). In another study using UV/Fenton process, COD removal was found to be approximately 92% (Iftikhar et al. 2023). In the present study, COD removal was found to be 85%, within the ranges specified in the literature. While TP removal was found to be approximately 97% in a study using UV/Fenton process in the removal of paper industry wastewater (Iftikhar et al. 2023); in the present study, TP removal was found to be 65%. In another study investigating zinc removal from oil industry wastewater using coagulation flocculation process, the removal efficiency was found to be 82% (Jagaba et al. 2021). In the study, TN removal was found to be at an average value of 60%, while heavy metals (Zn and CN) were almost completely removed.

In addition, the paper industry causes water pollution and also causes air pollution during pre-processing processes such as wood digestion. The chemicals used can reach the atmosphere and cause toxic effects. Therefore, a more detailed investigation of the paper industry from an environmental perspective will be important in terms of the global goals set by the United Nations.

CONCLUSION

Paper industry wastewater, which varies in terms of pollutant concentration, was characterized and its removal was investigated using coagulation-flocculation process. COD, TN, TP, Zn and CN removal were also investigated. In this study, COD removal rate was 85%, TN removal efficiency was 60%, TP removal efficiency was 65% and heavy metal removal rate was 99%. Since the disposal of sludge formed by the Coagulation-Flocculation Process may be difficult, it will be important to investigate the treatment of paper industry wastewater using sustainable treatment technologies. In addition, research on green coagulants that can be used in the process can facilitate the disposal of the formed sludge. It will be important to investigate the heavy metal compound in paper industry wastewater.

REFERENCES

Chen, X., Meng, X., Si, C., Fu, Y. (2025). Recovery of wastewater from the pulp and paper industry by cellulose acetate reverse osmosis membrane. International Journal of Biological Macromolecules, 297, 139862.

El Gaayda, J., Rachid, Y., Titchou, F. E., Barra, I., Hsini, A., Yap, P. S., ... & Akbour, R. A. (2023). Optimizing removal of chromium (VI) ions from water by coagulation process using central composite design: Effectiveness of grape seed as a green coagulant. Separation and Purification Technology, 307, 122805. https://doi.org/10.1016/j.seppur.2022.122805

Goli, A., Shamiri, A., Khosroyar, S., Talaiekhozani, A., Sanaye, R., Azizi, K. (2019). A review on different aerobic and anaerobic treatment methods in dairy industry

wastewater. Journal of Environmental Treatment Techniques, 6, 113-141. http://www.jett.dormaj. com.

Iftikhara, A., Mahmooda, Q., Hayata, M. T., Siddiquea, M., Zeba, B. S. (2023). UV/Fenton based treatment of paper recycling industry wastewater. Desalination and Water Treatment, 300, 28-35.

Jagaba, A. H., Kutty, S. R. M., Hayder, G., Baloo, L., Ghaleb, A. A. S., Lawal, I. M., Abubakar, S., Al-dhawi, B. N. S., Almahbashi, N. M. Y., Umaru, I. (2021). Degradation of Cd, Cu, Fe, Mn, Pb and Zn by Moringa-oleifera, zeolite, ferric-chloride, chitosan and alum in an industrial effluent. Ain Shams Engineering Journal, 12, 57-64. https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.06.016

Jiang, S., Li, Y., Ladewig, B. P. (2017). A review of reverse osmosis membrane fouling and control strategies. Science of The Total Environment, 595, 56-583. https://doi.org/ 10.1016/j.scitotenv.2017.03.235.

Jagaba, A. H., Kutty, S. R. M., Baloo, L., Birniwa, A. H., Lawal, I. M., Aliyu, M. K., Yaro, N. S. A., Usman, A. K. (2022). Combined treatment of domestic and pulp and paper industry wastewater in a rice straw embedded activated sludge bioreactor to achieve sustainable development goals. Case Studies in Chemical and Environmental Engineering, 6, 100261.

Kılıç, M. Y., & Kumbasar, P. (2023). Çinko-nikel alaşım kaplama atıksularının kimyasal arıtabilirliğinin araştırılması. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 28(1), 307-316. https://doi.org/10.17482/uumfd.1249112

Kumar, D., Sharma, C. (2020). Reduction of chlorophenols and sludge management from paper industry wastewater using electrocoagulation process. Separation Science and Technology, 55, 2844-2854. https://doi.org/10.1080/01496395.2019.1646761.

Kumar, A., Singh, A. K., Ahmad, S., Chandra, R. (2020b). Optimization of Laccase Production by bacillus sp. Strain AKRC01 in Presence of Agro-waste as Effective Substrate using Response Surface Methodology. Journal of Pure and Applied Microbiology, 14 (1), 351-362.

Kumar, D., Sharma, C. (2022). Paper industry wastewater treatment by electrocoagulation and aspect of sludge management. Journal of Cleaner Production, 360, 131970.

Mainardis, M., Mulloni, S., Catenacci, A., Danielis, M., Furlani, E., Maschio, S., Goi, D. (2022). Sustainable alternatives for tertiary treatment of pulp and paper wastewater. Sustainability, 141-18. https://doi.org/10.3390/su14106047.

Ngerem, C. E., Sanusi, A. I., Kana, G. E. B., Olaniran, A. O. (2025). Optimization of co-valorisation techniques for dairy and paper pulp wastewater in the cultivation of Chlorococcum sp. with a focus on mixture design, microwave-assisted pretreatment, and bioethanol production. Heliyon, 11, e42531.

Parra-Saldivar, R., Bilal, M., Iqbal, H.M.N. (2020). Life cycle assessment in wastewater treatment technology. Current Opinion in Environmental Science & Health,13, 80-84.

Pereira, C.T., Sorlini, S., S´atiro, J., Albuquerque, A. (2024). Water, sanitation, and hygiene (WASH) in schools: a catalyst for upholding human rights to water and sanitation in An´apolis, Brazil, Sustain 16. https://doi.org/10.3390/su16135361.

Singh, K. A., Kumar, A., Chandra, R. (2022). Environmental pollutants of paper industry wastewater and their toxic effects on human health and ecosystem. Bioresource Technology Reports, 20, 101250.

Tang, X., Liu, L., Wang, Z., Yong, Q., Fan, Y., Li, X. (2025). Development of a self-reinforcing nanocellulose-based Rhizopus oryzae living hydrogel for enhanced treatment of ultra-high COD pulp and paper industry wastewater. Industrial Crops & Products, 227, 120780.

Wagner, J. T., Pramling Samuelsson, I. (2019). WASH from the START: water, sanitation and hygiene education in preschool. International Journal of Early Childhood, 515-21. https://doi. org/10.1007/s13158-019-00236-5.

Wang, Y., Ho, S. H., Cheng, C. L., Guo, W. Q., Nagarajan, D., Ren, N. Q., Lee, D.J., Chang, J. S. (2016). Perspectives on the feasibility of using microalgae for industrial wastewater treatment. Bioresource Technology, 222, 485-497. https://doi.org/ 10.1016/j.biortech.2016.09.106.

Xu, H.-X., Wang, G.-M., Xu, Z.-M., Chen, X., Yu, Z., Geng, L. (2012). Dual-shunt branch circuit and harmonic suppressed device application. Applied Physics A, 108, 497-502.

SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞININ 6005 VE 6005A ALÜMINYUM ALAŞIMLARI ÜZERINDEKI ETKILERININ KARŞILAŞTIRILMASI VE İNCELENMESI

COMPARISON AND INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF FRICTION STIR WELDING ON 6005 AND 6005A ALUMINUM ALLOYS

Berat Bayramoğlu
Sakarya Uygulama Bilimler Üniversitesi,Sakarya University Of Applied Science
ORCID NO: 0000-0003-2043-4116

Salim ASLANLAR
Prof. Dr., Sakarya Uygulama Bilimler Üniversitesi,Sakarya University Of Applied Science
ORCID ID: 0000-0001-6676-110X

ÖZET

Bu tez çalışmasında, 6005 ve 6005A alüminyum alaşımlarının sürtünme karıştırma kaynak (FSW) işlemi sonrası oluşan mikro yapı değişiklikleri ve mekanik özellikleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Çalışmada, kaynak işlemi sırasında takım dönme hızı, ilerleme hızı ve eksenel kuvvet gibi parametrelerin etkisi araştırılmıştır. Çekme testleri ve mikro yapı analizleri, numunelerin ekstrüzyon yönüne paralel ve dik doğrultuda alınmasıyla gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, 6005 ve 6005A alaşımlarının kaynak bölgesinde farklı mekanik davranışlar sergilediğini göstermiştir. 6005A alaşımında daha ince taneli bir mikro yapı elde edilirken, 6005 alaşımı daha yüksek çekme mukavemeti göstermiştir. Bu farklılıklar, her iki alaşımın kimyasal bileşimleri ve mikro yapı özellikleriyle ilişkilendirilmiştir. Çalışma sonuçları, 6005 ve 6005A alüminyum alaşımlarının endüstriyel uygulamalarda kullanım potansiyellerini değerlendirmek için faydalı bilgiler sunmaktadır.

Anahtar kelimeler: Sürtünme karıştırma kaynak, 6005 alüminyum alaşımı, 6005A alüminyum alaşımı, mikro yapı, mekanik özellikler.

ABSTRACT

In this study, the microstructural changes and mechanical properties of 6005 and 6005A aluminum alloys were comparatively investigated after friction stir welding (FSW) processes. The effects of welding parameters such as tool rotational speed, feed rate, and axial force were examined. Tensile tests and microstructural analyses were conducted on samples taken parallel and perpendicular to the extrusion direction.

The results revealed that the welded region exhibited different mechanical behaviors for the two alloys. While 6005A alloy displayed a finer grain structure, the 6005 alloy demonstrated higher tensile strength. These differences were attributed to the chemical compositions and

microstructural properties of the alloys. The findings provide valuable insights into the industrial application potentials of 6005 and 6005A aluminum alloys.

Keywords: Friction stir welding, 6005 aluminum alloy, 6005A aluminum alloy, microstructure, mechanical properties.

GİRİŞ

Kaynaklı birleştirme yöntemleri, modern endüstride geniş bir kullanım alanına sahip olup, havacılık, otomotiv, gemi, demiryolu ve savunma sanayisi gibi birçok sektörde kritik öneme sahiptir. Kaynak, aynı veya benzer ergime sıcaklıklarına sahip iki veya daha fazla metalik ya da termoplastik malzemenin, ek malzeme kullanılarak veya kullanılmadan, ergitme veya ergitmesiz yöntemlerle birleştirilmesi işlemidir. Tarih boyunca, insanların araç ve gereç üretme ihtiyacı, kaynaklı birleştirme yöntemlerinin gelişmesine neden olmuştur. İlk olarak iki metalin birleştirilmesiyle başlayan bu süreç, zamanla malzeme özelliklerini bozmadan kaynak yapma gerekliliği doğurmuştur. Bu gelişme sonucunda, kaynak yöntemleri ergitmeli ve ergitmesiz kaynak yöntemleri olarak iki ana gruba ayrılmıştır. [1].

Ergitmeli kaynak yöntemlerinde, birleştirilecek malzemelerin yüzeyleri ergitilerek kaynaşması sağlanırken, ergitmesiz kaynak yöntemlerinde malzemeler ergime sıcaklığının altında bir sıcaklıkta, plastik deformasyon veya difüzyon etkisiyle birleştirilir. Günümüzde, yüksek hassasiyet gerektiren makine elemanlarının üretiminde faz dönüşümleri ve plastik deformasyonun minimum seviyede tutulması kritik bir gereklilik haline gelmiştir. Bu nedenle, düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilen birleştirme teknikleri mühendislik açısından büyük önem taşımaktadır [2].

Sürtünme Karıştırma Kaynağı (FSW - Friction Stir Welding), 1991 yılında The Welding Institute (TWI) tarafından geliştirilmiş olup, özellikle alüminyum alaşımlarının birleştirilmesinde devrim niteliğinde bir yöntem olarak kabul edilmiştir. FSW yönteminde, dönen bir takım, kaynak hattı boyunca ilerlerken malzeme üzerinde termomekanik yükleme oluşturur [3]. Bu süreçte, ısı üretimi, plastik deformasyon ve takım geometrisinin kaynak bölgesi üzerindeki etkisi gibi faktörler, malzemenin mikro yapısında önemli değişimlere neden olmaktadır. Kaynak sırasında oluşan bu değişimler, malzemenin mekanik özelliklerini etkileyerek çekme dayanımı, sertlik ve süneklik gibi parametrelerin değişmesine neden olabilir.

FSW işlemi sırasında uygulanan dönme hızı, ilerleme hızı ve takım geometrisi, kaynak kalitesini doğrudan etkileyen parametrelerdir. İşlem parametrelerinin değiştirilmesi, kaynak bölgesindeki sıcaklık ve gerilme dağılımında farklılıklar meydana getirmektedir. Bu nedenle, optimum kaynak parametrelerinin belirlenmesi, kaynak bölgesinin mekanik özelliklerini iyileştirmek açısından büyük önem taşımaktadır. Geleneksel ergitme kaynak yöntemleri, malzemelerin ergimesi ve katılaşması sırasında çatlak, gözenek ve mikro yapı farklılıkları gibi

sorunlarla karşı karşıya kalmaktadır. Buna karşılık, FSW işlemi sırasında ergime olmadığı için katılaşma da gerçekleşmez. Dolayısıyla, erimiş metal içerisinde yabancı madde kalma riski, kristal yapı farklılaşması ve katılaşma sırasında meydana gelebilecek çatlamalar gibi olumsuzluklar ortadan kalkmaktadır. Farklı metal ve alaşımların kaynağında yüksek mekanik dayanım ve üstün metalürjik özellikler sağlamaktadır. Günümüzde, havacılık, otomotiv, gemi, demiryolu ve savunma sanayisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Hafif ancak yüksek mukavemet gerektiren alüminyum alaşımlarının geleneksel ergitme kaynak yöntemleri ile kaynatılması zorlu bir süreçtir. Bu nedenle, FSW yöntemi, alüminyum alaşımlarının problemsiz ve yüksek verimlilikle birleştirilmesi için geliştirilmiştir ve günümüzde sanayi uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Yakıt tankları, uçak ve roket gövdeleri, otomotiv parçaları, feribot güverteleri, tren gövdeleri ve alüminyum ekstrüzyon levhaların birleştirilmesi gibi birçok alanda başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Bu yöntemin avantajları arasında yüksek mukavemetli birleştirmeler sağlaması, malzemenin mekanik ve mikro yapı özelliklerini büyük ölçüde koruması ve kaynak bölgesinde çatlak, gözenek veya deformasyon oluşumunu minimum seviyeye indirmesi bulunmaktadır [4.].

FSW'nin geliştirilmesi ile ilgili yapılan akademik çalışmalar, bu teknolojinin gelecekte daha geniş kullanım alanlarına sahip olacağını göstermektedir. 2000 yılına kadar dünya genelinde 225'ten fazla patent alınmış olması, bu yöntemin ne derece önemli bir kaynak teknolojisi olduğunu kanıtlamaktadır. Bu gelişmeler doğrultusunda, birçok sanayi kuruluşu FSW yöntemini üretim süreçlerine entegre etmekte ve yüksek verimlilik elde etmektedir.

Bu çalışmada, sürtünme karıştırma kaynağının (FSW) sadece uygulanması değil, aynı zamanda malzeme mukavemeti açısından detaylı olarak incelenmesi hedeflenmiştir. Kaynak esnasında oluşan sıcaklık dağılımı, dönme hızı, ilerleme hızı, takım geometrisi ve bağlama sisteminin kaynak kalitesine etkisi değerlendirilmiştir. Özellikle kaynak bölgesindeki mekanik değişimler, tane boyutları, mikro yapı özellikleri ve sertlik dağılımı gibi faktörler detaylı olarak ele alınmıştır.

YÖNTEM

Sürtünme Karıştırma kaynağı

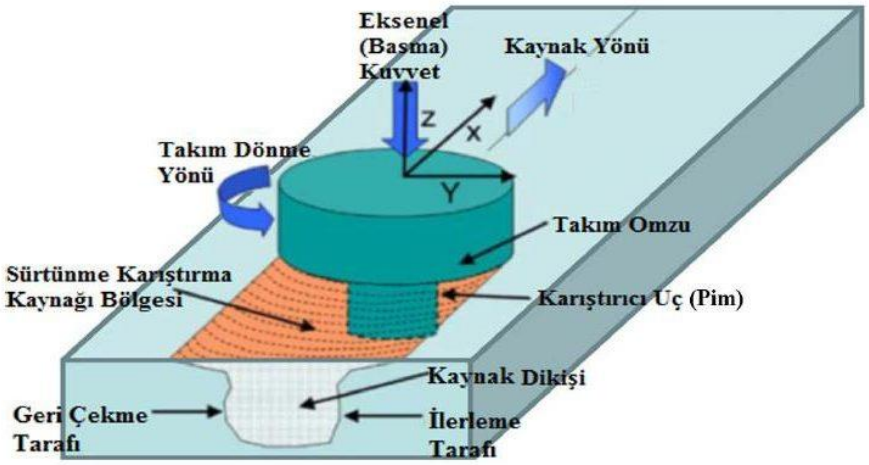
Sürtünme Karıştırma Kaynağı (SKK), sürtünme kaynak yönteminden yola çıkılarak geliştirilen ve ilk olarak 1991 yılında İngiltere'de The Welding Institute (TWI) tarafından uygulanan yenilikçi bir katı hal birleştirme yöntemidir [4].. Bu kaynak yöntemi, ergitme kaynaklarında zorluk yaşanan alüminyum ve magnezyum gibi hafif metallerin birleştirilmesi amacıyla geliştirilmiş ve kısa sürede yüksek verimlilik, sağlamlık ve metalürjik üstünlükleri ile endüstride yaygınlaşmıştır [5].

SKK yönteminde, kaynaklanacak parçalar sabit bir şekilde bağlanır ve karıştırıcı uç (probe), birleştirilecek kenarların üzerine yerleştirilir. Karıştırıcı takımın omuz kısmının malzeme yüzeyine sürtünmesiyle oluşan ısı, parçaların ergime sıcaklıklarının altındaki sıcaklıklarda

plastik deformasyonuna neden olur. Bu deformasyon sayesinde malzemeler, karıştırıcı takımın etkisiyle mekanik olarak birleştirilir [5].

SKK işlemi sırasında ilave dolgu teline, koruyucu gazlara veya tozlara ihtiyaç duyulmaz. Aynı zamanda ergitme kaynak yöntemlerinde karşılaşılan zararlı duman, ultraviyole ışık veya gaz salımı gibi riskli çevresel etkiler de oluşmaz, bu da SKK'yı çevre ve operatör sağlığı açısından daha güvenli bir kaynak yöntemi haline getirir.

SKK yöntemi, geleneksel kaynak tekniklerine kıyasla birçok avantaj sunar. Yüksek kaynak kalitesi, düşük artık gerilmeler, mükemmel mekanik özellikler ve yüksek kaynak hızı gibi avantajları sayesinde kara, deniz ve hava taşımacılığında kullanılan yapısal bileşenlerin üretiminde, köprü ve altyapı projelerinde, et kalınlığı yüksek ve geniş yüzeye sahip levhaların birleştirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır [6].



Şekil 1. SKK Uygulaması

SKK yönteminde karıştırıcı takım, iki temel görevi yerine getirir:

- Sürtünme yoluyla kaynak için gerekli olan ısıyı üretmek,
- Oluşan ısı ile yumuşamış olan malzemeleri karıştırmak ve takım ilerlemesi ile birlikte birleşmeyi sağlamak [7].

Bu iki işlev, kaynak bölgesinde homojen bir karışım yapısı ve kaliteli bir birleştirme oluşturulmasına olanak tanır. Uygulama esnasında kullanılan parametreler, kaynak bölgesinde oluşacak sıcaklık, deformasyon miktarı ve mikro yapı oluşumlarını doğrudan etkilemektedir. Şekil 1'te SKK işleminin genel yapısı şematik olarak gösterilmektedir.

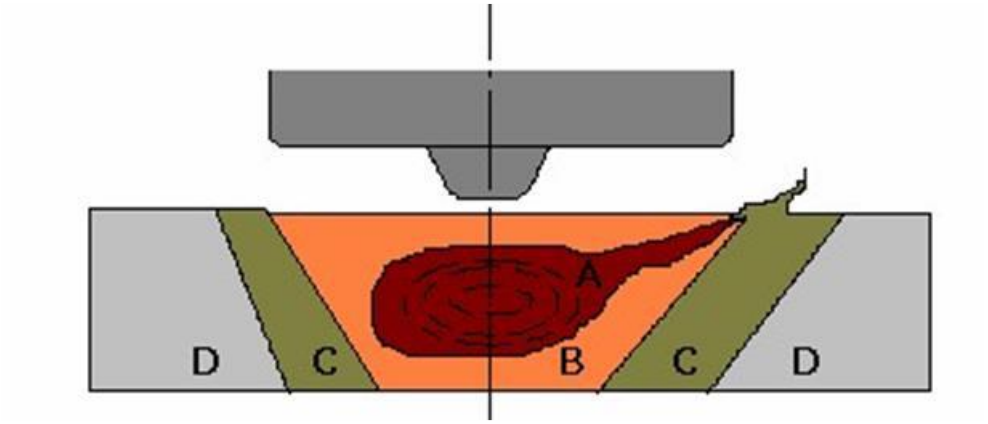
Diğer kaynak yöntemlerine kıyasla, Sürtünme Karıştırma Kaynağı (SKK) yönteminde kaynak bölgesinde oluşan ısının daha düşük seviyelerde olması, bu yöntemde elde edilen kaynak metalinin mikroyapısının da farklılık göstermesine neden olmaktadır [7].

SKK ile elde edilen kaynak bölgesinde mikroyapısal olarak en belirgin oluşum, "soğan halkaları" olarak adlandırılan yapısal desenlerdir. Bu halkalar, karıştırıcı takımın döner hareketi ile birlikte ilerleme hareketi sonucu ortaya çıkan malzeme akışından kaynaklanmakta olup, alaşım türüne ve uygulanan kaynak parametrelerine bağlı olarak farklı şekillerde gözlemlenebilmektedir [7].

SKK işleminde kaynak bölgesi, ana metalden kaynak bölgesine doğru farklı mikroyapısal özelliklere sahip üç ana bölgeden oluşmaktadır [7].

- Isı Tesiri Altındaki Bölge (ITAB) – Kaynak bölgesine yakın olmakla birlikte plastik deformasyona maruz kalmamış, yalnızca ısı etkisi ile yapısal değişimlerin gözlendiği bölgedir.
- Termomekanik Etkilenen Bölge (TEB) – Hem ısıya hem de mekanik etkilere maruz kalan bu bölge, tane yapısının kısmen değişime uğradığı geçiş bölgesidir.
- Dinamik Olarak Yeniden Kristalleşen Bölge (DYKB) – Karıştırıcı takımın doğrudan etkisiyle plastik deformasyona uğramış ve yeniden kristalleşme sonucu ince taneli bir yapı kazanmış olan bölgedir [8].

Bu farklı yapısal bölgelerin oluşumu, kaynak işlemi sırasında ortaya çıkan yoğun plastik deformasyon ve ısıl etkilerin bir sonucudur [9].



Şekil 2. SKK Uygulanan Alüminyum Alaşımın Mikro Yapısı

Deneysel çalışmalar

6005 ve 6005A alüminyum alaşımlarının Sürtünme Karıştırma Kaynağı (SKK) yöntemiyle birleştirilmesine yönelik gerçekleştirilen deneysel çalışmalar ayrıntılı şekilde sunulmaktadır. Çalışmanın temel amacı, bu iki farklı alüminyum alaşımı için SKK yöntemiyle en uygun kaynak parametrelerinin belirlenmesidir. Bu kapsamda, değişken parametrelerin etkisi incelenerek, elde edilen numunelerin mekanik ve mikroyapısal özellikleri karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.

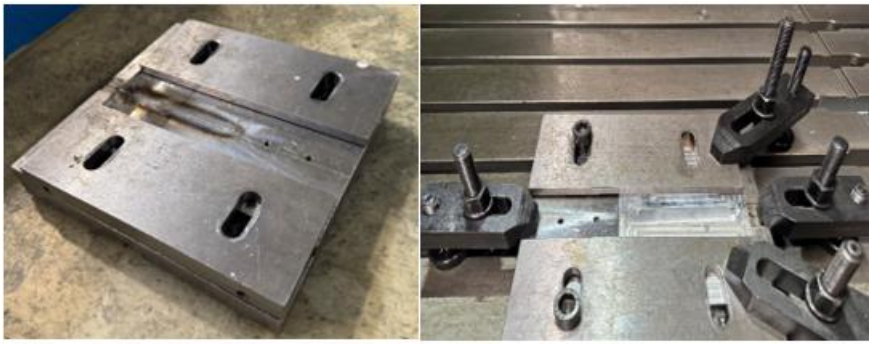
Deneysel çalışmalar kapsamında; çekme testleri, mikroyapı analizleri, sertlik ölçümleri ve kaynak verimliliği hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Kaynak parametrelerinden dönme hızı ve ilerleme hızı değişken olarak ele alınmış, diğer tüm parametreler sabit tutulmuştur. Bu bağlamda, ilk grup numunelerde yalnızca dönme hızı değiştirilmiş, ikinci grup numunelerde ise ilerleme hızı değiştirilmiştir. Parametre aralıklarının belirlenmesinde literatürdeki önceki çalışmalar referans alınmıştır.

Çekme testleri, SKK işlemi sonrası malzemenin mekanik özelliklerindeki değişimlerin değerlendirilmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bu testler ASTM E8 ve ISO 6892-1 standartlarına uygun şekilde yapılmış olup, testlerde ZWICK marka çekme testi cihazı kullanılmıştır. Her iki alaşım için toplam 12 adet çekme numunesi hazırlanmıştır:

- 6005 Alüminyum Alaşımı: 3 numune dönme hızı değişken, 3 numune ilerleme hızı değişken.
- 6005A Alüminyum Alaşımı: 3 numune dönme hızı değişken, 3 numune ilerleme hızı değişken

Bu çalışmada kullanılan SKK fikstürü AISI 1050 çelik malzeme kullanılarak imal edilmiştir. Fikstür tasarımında, iş parçasının konumunu stabil tutmak amacıyla çeşitli yapısal önlemler alınmıştır. Her iki yönde sabitleme ve destekleme amacıyla, alüminyum plakaların ölçülerine uygun oluklar destek plakası üzerine işlenmiştir. Bu oluklar sayesinde, kaynak sırasında oluşabilecek yanal kuvvetlerin ve olası sapmaların minimize edilmesi hedeflenmiştir.

Ayrıca, fikstür sistemi içerisinde kelepçeler yalnızca destek plakasının freze tezgahının tablasına sabitlenmesi için değil, aynı zamanda alüminyum iş parçalarının destek plakasına sıkı bir şekilde tutturulması amacıyla da kullanılmıştır. İşlem süreci boyunca gözlemlenen deneysel sonuçlar, fikstürün iş parçasını güvenli ve stabil şekilde sabitleyebildiğini ortaya koymuştur. Böylece kaynak kalitesinin sürekliliği ve iş parçası bütünlüğü başarıyla sağlanmıştır.



Şekil 1. Fikstür

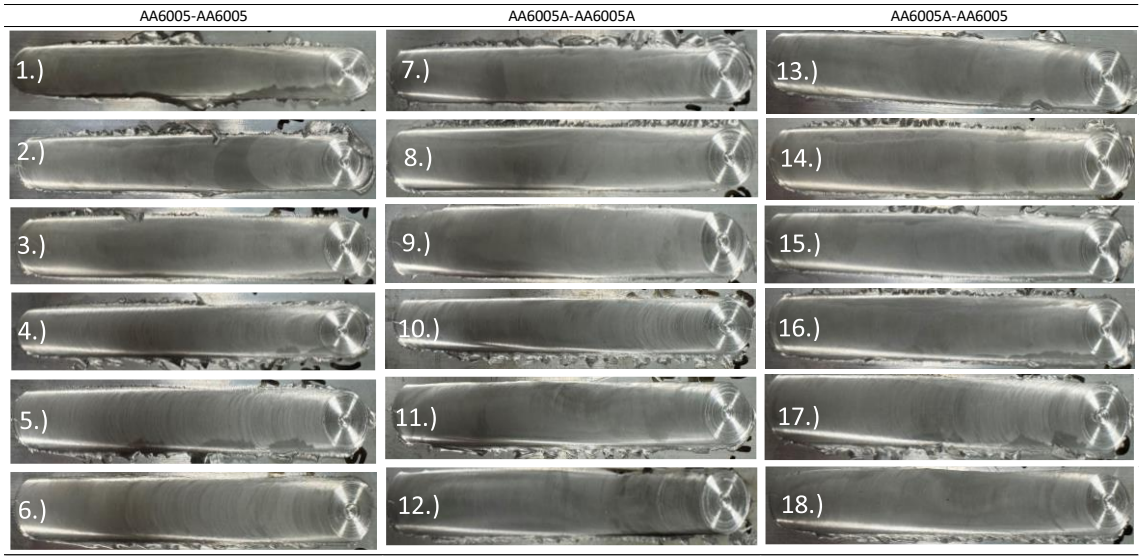
Bu denem kapsamında 6000 serisi alüminyum alaşımların ideal kaynak parametrelerin bulunmasıdır, bundan dolayı en önemli parametreleri odak verilmiştir (Dönme hızı ve Kaynak hızı). Dönme hızı değişken olarak kaynak hızı sabit tutulmuştur. Bir diğer faktör ise

kaynak dikişi ekstrüzyon yöne dik ve ekstrüzyon yönüne göre üretilmesi. Burada kaynağın ekstrüzyon yönünü ne kadar etki ettiğini araştırılmaktadır. olarak at Kaynak kalitesini belirlemek için birçok testler yapılmıştır. Görünür hataların tespit edilebilmesi için makro yapısı incelenmiştir. Kaynak bölgesinin mekanik özelliklerini araştırmak için çekme testi ile mikro yapısı incelenmiştir. Mikro yapısı optik mikroskopu ve taramalı elektron mikroskobu ile incelenmiştir. Bu şekilde farklı testler analiz ve sonuçların daha doğru yorumlanarak hedeflenmiştir.

Tablo 1. Sürtünme Karıştırma Kaynağı Parametreler

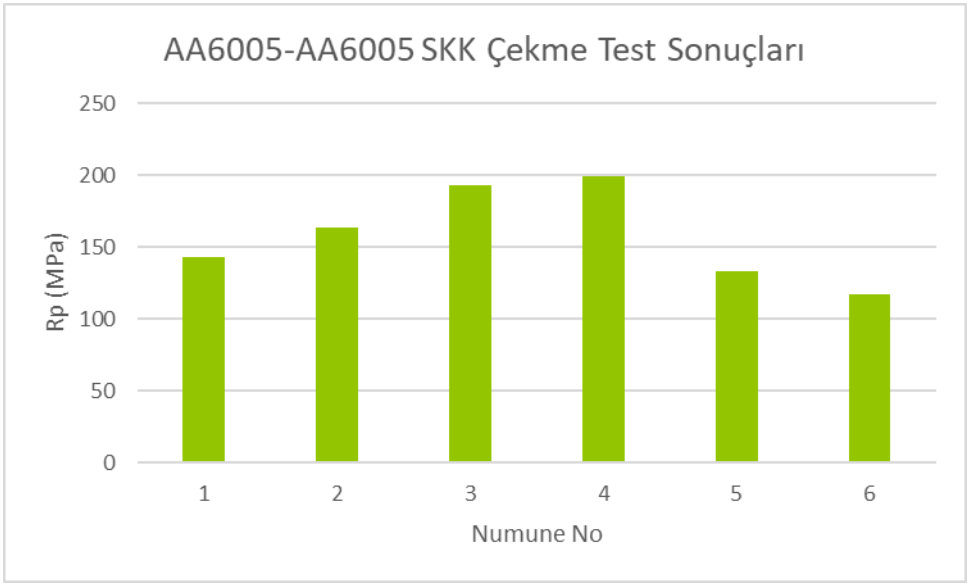
No	Alaşım	Dönme Hızı (d/dk)	İlerleme Hızı (mm/dk)	Batma Derinliği (mm)	Takım acısı (◦)
1	6005-6005	1500	50	0,2	2
2	6005-6005	1750	50	0,2	2
3	6005-6005	2000	50	0,2	2
4	6005-6005	2250	50	0,2	2
5	6005-6005	2000	75	0,2	2
6	6005-6005	2000	100	0,2	2
7	6005A-6005A	1500	50	0,2	2
8	6005A-6005A	1750	50	0,2	2
9	6005A-6005A	2000	50	0,2	2
10	6005A-6005A	2250	50	0,2	2
11	6005A-6005A	2000	75	0,2	2
12	6005A-6005A	2000	100	0,2	2
13	6005A-6005	1500	50	0,2	2
14	6005A-6005	1750	50	0,2	2
15	6005A-6005	2000	50	0,2	2
16	6005A-6005	2250	50	0,2	2
17	6005A-6005	2000	75	0,2	2
18	6005A-6005	2000	100	0,2	2

Görsel inceleme sonuçları, daha ileri düzey testler olan mikroyapı analizleri, sertlik ölçümleri ve mekanik testler için yönlendirici nitelik taşımaktadır. Şekil 4'de yapılan numunelerin görselleri gözükmektedir.

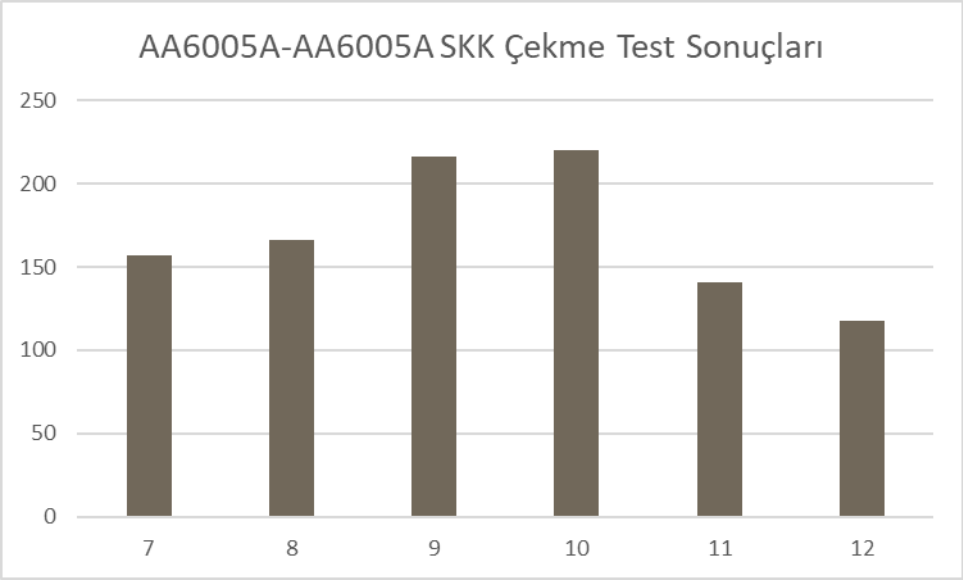


Şekil 4 Numune Görsel Sonuçları

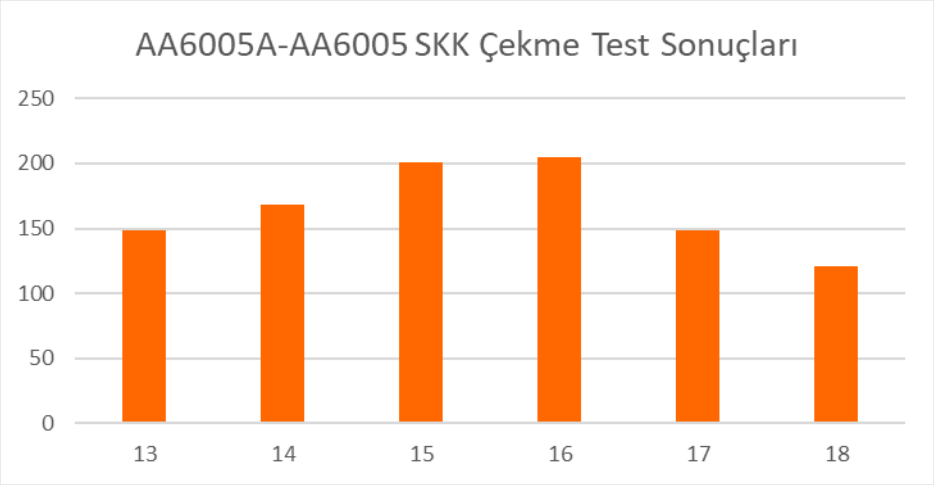
Yapılan çekme testleri sonucunda, Sürtünme Karıştırma Kaynağı (SKK) yöntemiyle birleştirilen 6005 ve 6005A alüminyum alaşımlarının akma dayanımı (Rp) değerleri karşılaştırılmıştır. Elde edilen veriler, kaynak parametrelerinin (dönme hızı/ilerleme hızı oranı) mekanik özellikler üzerindeki etkisini açıkça ortaya koymaktadır.



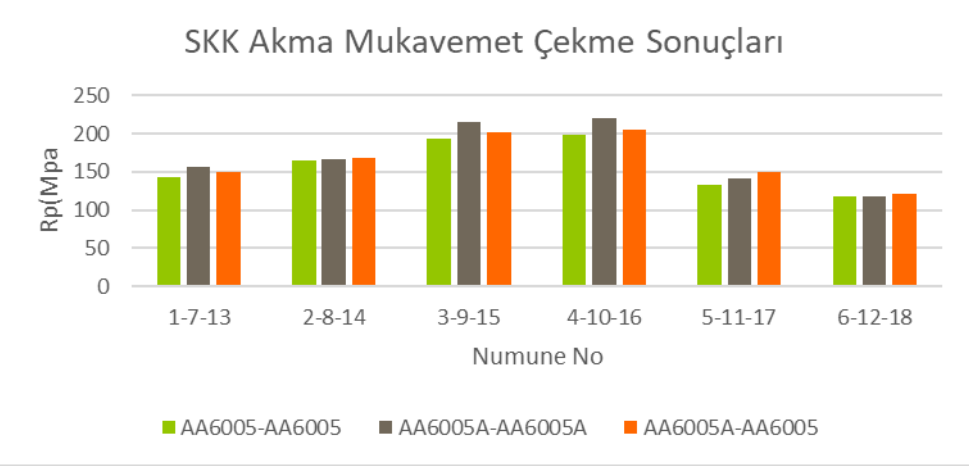
Şekil 5. AA6005-AA6005 Sürtünme Karıştırma Kaynağı Çekme Test Sonuçu



Şekil 6. AA6005A-AA6005A Sürtünme Karıştırma Kaynağı Çekme Test Sonuçu



Şekil 7. AA6005A-AA6005 Sürtünme Karıştırma Kaynağı Çekme Test Sonuçu



Şekil 8. Sürtünme Karıştırma Kaynağı Çekme Test Sonuçu Karşılaştırılması

ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

AA6005–AA6005 alaşım çiftlerinin SKK yöntemiyle birleştirilmesi sonrasında elde edilen çekme testi sonuçları gösterilmiştir. Grafikte, farklı kaynak parametreleriyle birleştirilen altı farklı numunenin akma dayanımı değerleri sunulmaktadır. Numune 3 ve Numune 4'te, sırasıyla 2000 d/dk ve 2250 d/dk dönme hızlarında elde edilen yaklaşık 195–200 MPa seviyesindeki akma dayanımı değerleri, bu parametre aralığının optimum olduğunu göstermektedir. Bu numunelerde kaynak bölgesinde mikro yapısal bütünlüğün daha iyi korunduğu ve mekanik özelliklerin daha az zayıfladığı anlaşılmaktadır.

Buna karşılık, Numune 1 ve Numune 2'de daha düşük dönme hızlarında (1500–1750 d/dk) elde edilen akma dayanımı değerlerinin daha düşük olduğu görülmüştür. Bu durum, kaynak bölgesinde yeterli ısıl etkinin sağlanamaması ve metalurjik bağın yeterince gelişmemesi ile ilişkilendirilebilir. Numune 5 ve Numune 6'da ise dönme hızı sabit tutulmuş (2000 d/dk) ancak ilerleme hızı artırılmıştır (75–100 mm/dk). Bu numunelerde gözlemlenen düşük akma dayanımı değerleri, artan ilerleme hızı nedeniyle kaynak bölgesinde yeterli ısı oluşmaması sonucu bağ kalitesinin zayıfladığını göstermektedir.

AA6005A–AA6005A alaşım çiftlerinin SKK yöntemiyle birleştirilmesi sonrası yapılan çekme testlerinden elde edilen akma dayanımı (Rp) değerleri sunulmuştur. Grafikte 7 ila 12 numaralı numunelere ait sonuçlar yer almaktadır. Numune 9 ve Numune 10, yaklaşık 220–225 MPa ile en yüksek akma dayanımı değerlerine sahiptir. Bu sonuçlar, kullanılan kaynak parametrelerinin kaynak bölgesinde uygun bir ısı dağılımı sağladığını ve mikro yapısal bütünlüğü koruduğunu göstermektedir.

Numune 7 ve Numune 8'de elde edilen orta seviyedeki akma dayanımı değerleri (yaklaşık 155–165 MPa), bu kaynak parametrelerinin kısmen yeterli bağlanma sağladığını, ancak mikrosertlik düşüşlerinin daha belirgin olduğunu düşündürmektedir. Numune 11 ve Numune 12'de ise akma dayanımı değerlerinin önemli ölçüde düştüğü (yaklaşık 120–140 MPa) gözlemlenmiştir. Bu durum, yüksek ilerleme hızı veya yetersiz dönme hızı nedeniyle kaynak bölgesinde oluşan zayıf metalurjik bağ ile ilişkilendirilmektedir. Söz konusu parametrelerle yapılan kaynak uygulamalarında, kaynak bölgesinde mikrosertlikte ciddi azalmalar meydana gelmiş ve bu da mekanik dayanımı olumsuz yönde etkilemiştir.

AA6005A ile AA6005 alaşım çiftlerinin SKK yöntemiyle birleştirilmesi sonrası yapılan çekme testlerinden elde edilen akma dayanımı (Rp) değerleri sunulmaktadır. Grafikte 13–18 numaralı numunelere ait veriler değerlendirilmiştir. 15 ve 16 numaralı numunelerde elde edilen yaklaşık 200–205 MPa'lık yüksek akma dayanımı değerleri, uygulanan kaynak parametrelerinin farklı alaşımlar arasında homojen bir karışım sağladığını ve yapısal bütünlüğü koruduğunu göstermektedir.

Buna karşın, 13 ve 14 numaralarında elde edilen 150–170 MPa aralığındaki akma dayanımı değerleri, farklı alaşım grupları arasındaki bağın kısmen yeterli olduğunu ancak kaynak bölgesinde oluşan ısıl etkiler nedeniyle sertlik düşüşlerinin daha belirgin olabileceğini

göstermektedir. 17 ve özellikle 18 numaralı numunelerde gözlemlenen düşük dayanım değerleri (yaklaşık 145 MPa ve 120 MPa), kaynak bölgesinde oluşan yetersiz karıştırma, intermetalik faz oluşumu veya gevrekleşme gibi olumsuz metalurjik etkilerle ilişkilendirilmektedir.

Bu çalışma kapsamında, SKK yöntemiyle birleştirilen AA6005–AA6005, AA6005A–AA6005A ve AA6005A–AA6005 alaşım çiftlerine ait çekme testleri gerçekleştirilmiş, her bir numune grubuna ait akma dayanımı (Rp) değerleri grafiksel olarak değerlendirilmiş ve mekanik performanslar karşılaştırılmıştır.

AA6005–AA6005 numune grubunda elde edilen akma dayanımı değerleri genel olarak 130–200 MPa aralığında değişmiştir. Özellikle 3 ve 4 numaralı numunelerde elde edilen yüksek dayanım değerleri (~195–200 MPa), bu numunelere uygulanan kaynak parametrelerinin mekanik performans açısından uygun olduğunu göstermektedir. Buna karşılık, 5 ve 6 numaralı numunelerde gözlemlenen düşük değerler (~130–140 MPa), kaynak bölgesindeki ısıl etkinin yetersizliğine ve karıştırma etkinliğinin düşüklüğüne bağlanmaktadır.

AA6005A–AA6005A numune grubu, genel olarak en yüksek mekanik performansın elde edildiği grup olmuştur. Özellikle 9 ve 10 numaralı numunelerde elde edilen akma dayanımı (~220 MPa), AA6005A alaşımının SKK sonrası mekanik özelliklerini koruma açısından daha başarılı olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, 11 ve 12 numunelerinde gözlemlenen belirgin dayanım düşüşü (~120–140 MPa), uygun olmayan kaynak parametrelerinin kaynak bölgesinde olumsuz metalurjik değişimlere yol açtığını göstermektedir.

AA6005A–AA6005 numune grubunda ise akma dayanımı değerleri 120–205 MPa aralığında değişmektedir. Özellikle 15 ve 16 numaralı numunelerde elde edilen yüksek dayanım değerleri (~200–205 MPa), başarılı bir kaynak bağlantısına işaret etmektedir. Ancak 13, 14, 17 ve özellikle 18 numaralı numunelerde elde edilen daha düşük dayanım değerleri (~120–170 MPa), farklı alaşımların birleştirilmesinde oluşan yapısal dengesizliklerin mekanik özellikleri olumsuz yönde etkilediğini göstermektedir.

SONUÇ

Sonuç olarak, aynı alaşım çiftleriyle gerçekleştirilen kaynak işlemleri, farklı alaşım kombinasyonlarına kıyasla daha kararlı ve yüksek mekanik özellikler sunmaktadır. Özellikle AA6005A alaşımı, kaynak sonrası mekanik dayanımı koruma açısından daha üstün bir performans sergilemiştir. Farklı alaşım gruplarının birleştirildiği kaynak uygulamalarında ise, kaynak bölgesinde oluşabilecek metalurjik dengesizliklerin önlenebilmesi için kaynak parametrelerinin titizlikle optimize edilmesi gerekmektedir.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar

tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Prof. Dr. Salim ASLANLAR'a teşekkürlerimi sunarım.

KAYNAKLAR

1. Bilgin, M., Karabulut, Ş., ve Özdemir, A. (2017). Alüminyum magnezyum alaşımlarının sürtünme karıştırma kaynağı İle kaynak edilebilirliğinin değerlendirilmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji,* 5(2), 191-209.
2. Kumar, A., Khurana, M. K., and Singh, G. (2018). Modeling and optimization of friction stir welding process parameters for dissimilar aluminium alloys. *Materials Today: Proceedings,* 5(11, Part 3), 25440-25449.
3. Rao, T. B. (2020). Stochastic tensile failure analysis on dissimilar AA6061-T6 with AA7075-T6 friction stir welded joints and predictive modeling. *Journal of Failure Analysis and Prevention,* 20(4), 1333-1350.
4. Garg, A., Raturi, M., Garg, A., and Bhattacharya, A. (2020). Microstructure evolution and mechanical properties of double-sided friction stir welding between AA6061-T6 and AA7075-T651. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 31, 431-438.
5. Dagdelen, E., and Ulus, A. (2016). *Aluminum sheet production: Heat treatment of aluminium and temper designations of aluminium alloys*. 18th International Metallurgy and Materials Congress, Istanbul.
6. Mendez, P., and Eagar, T. (2002, August). *New trends in welding in the aeronautic industry.* 2nd Conference on New Manufacturing Trends for Aeronautical Industries, Cambridge, USA.
7. Atabay, S. E., and Dericioğlu, A. F. (2016). *Optimization of the diffusion bonding parameters for 6063 aluminum alloy.* 18th International Metallurgy and Materials Congress, Ankara, Turkey.
8. Carlone, P., and Palazzo, G. S. (2013). Influence of process parameters on microstructure and mechanical properties in AA2024-T3 friction stir welding. Metallography, Microstructure, and Analysis, 2(4), 213-222.
9. Bayazid, S. M., Heddad, M., and Cayiroglu, I. (2018). A review on friction stir welding, parameters, microstructure, mechanical properties, post weld heat treatment and defects. *Material Science &Engineering International Journal,* 2, 116-126.

CHARACTERIZATION OF A MICRO-REACTOR BY RESIDENCE AND MICROMIXING TIME TESTS TO USE IN A DERIVATIZATION REACTION

BİR MİKRO REAKTÖRÜN BİR TÜREVLENDİRME REAKSİYONUNDA KULLANILMAK ÜZERE ALIKONMA VE MİKRO KARIŞIM SÜRESİ TESTLERİ İLE KARAKTERİZASYONU

Hakan ALYÜRÜK

Dr., Dokuz Eylül Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü, Deniz Bilimleri Anabilim Dalı

Dr., Dokuz Eylül University, Institute of Marine Sciences and Technology, Department of Marine Sciences

ORCID ID: 0000-0001-8632-4281

ÖZET

Bu çalışmada, deniz suyunda bulunan inorganik bir iyon olan nitritin analitik düzeyde tayini için floresan özelliğe sahip bir organik moleküle tek aşamalı bir türevlendirme reaksiyonunda yüksek verim ile dönüşümünün sağlanması amacıyla bir sürekli mikro akış reaktörü tasarlanmış ve karakterize edilmiştir. Mikro reaktörün kurulumunda yüksek basınçlı bir piston pompa, bir manuel enjeksiyon valfi, bir T konektörü, bir hat içi pasif karıştırıcı, bir basınç regülatörü (15-300 psi), kapiler borular (1, 3 ve 10 m uzunluk ve 0,025 mm iç çap) ve bir spektrofotometrik dedektör kullanılmıştır. Reaktörün karakterizasyonu için reaktiflerin alıkonma süreleri (t_R) bir boyar maddenin sisteme pulslu enjeksiyonu yoluyla belirlenmiştir. Reaktörün mikro karışım verimliliği (t_m), asitli ortamda bir hız sınırlayıcı reaksiyon olan iyodür ve iyodatın tüketimi ile iyot oluşumunu içeren çoklu bir reaksiyon sistemi (Villermaux-Dushman reaksiyonu) kullanılarak tespit edilmiştir. 1, 3 ve 10 m'lik reaktörlerin alıkonma süreleri sırasıyla $1 < t_R < 4$ dk, $1.5 < t_R < 7$ dk ve $3 < t_R < 12$ dk aralığında gözlenmiştir. Çeşitli geri basınçlar altında 1, 3 ve 10 m'lik reaktörlerin mikro karışım süreleri 15 ila 100 s aralığında bulunmuştur. Akış hızı 2 kata çıktığında karışım süreleri yaklaşık yarı yarıya azalmıştır. Reaktör uzunluğu arttıkça yüksek geri basınç ve düşük akış hızlarında mikro karışım süreleri kısalma eğilimi göstermiştir. Sonuç olarak, test edilen farklı reaktör şartları altında, farklı reaktör uzunlukları için mikro karışım süreleri reaktiflerin reaktördeki alıkonma sürelerinin altında tespit edilmiş olup, bu bulgu tasarlanan reaktörün türevlendirme reaksiyonunda kullanılabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: mikro reaktör, alıkonma süresi, mikro karışım verimi, türevlendirme, deniz suyu.

ABSTRACT

In this study, a continuous micro-flow reactor was assembled with the aim of characterizing its use in a single-step derivatization reaction to efficiently convert an inorganic ion (nitrite) to a fluorescent organic molecule for its analysis. A high-pressure plunger pump, a manual

injection valve, a tee connector, an inline passive mixer, a pressure regulator (15-300 psi), capillary tubings (1, 3, and 10 m in length and 0.025 mm inner diameter), and a spectrophotometric detector were used in the setup of the micro-reactor. For characterization of the reactor, the residence times (t_R) of reactants were determined by a pulsed dye injection test. The micromixing efficiency (t_m) of the reactor was estimated with a rate limiting step in a multiple reaction system that involve consumption of iodide and iodate to form iodine (Villermaux-Dushman reaction) under acidic conditions. The residence times of 1, 3 and 10 m reactors were observed in the ranges of $1 < t_R < 4$ min, $1.5 < t_R < 7$ min and $3 < t_R < 12$ min, respectively. The micromixing times of 1, 3 and 10 m reactors with and without the pressure regulator were found in the range of 15 to 100 s. The mixing times were reduced nearly by half when the flow rate increased to 2-fold. For longer reactor lengths, higher back pressure resulted in decreased mixing times at low flow rates. In conclusion, among different reactor settings tested, the mixing times for different reactor lengths were always below the residence times of the reactants which showed applicability of the designed reactor for its use in derivatization reactions.

Keywords: micro-reactor, residence time, micro-mixing time, derivatization, seawater.

ATIK AHŞAP PALETLERDEN ELDE EDİLEN LİGNOSELÜLOZİK LİFLERİN KİMYASAL BİLEŞENLERİNİN ANALİZİ

ANALYSIS OF CHEMICAL COMPOSITIONS OF LIGNOCELLULOSIC FIBRES DERIVED FROM WASTE WOODEN PALLETS

Mehmet DEMİR
İzmir Kâtip Çelebi University, Faculty of Forestry, Department of Forest Biology and Wood Protection Technology, İzmir, Türkiye
ORCID NO: 0000-0001-9825-0128

Nilgül ÇETİN
İzmir Kâtip Çelebi University, Faculty of Forestry, Department of Forest Biology and Wood Protection Technology, İzmir, Türkiye
ORCID NO: 0000-0003-4797-0824

Nasır NARLIOĞLU
İzmir Kâtip Çelebi University, Faculty of Forestry, Department of Forest Biology and Wood Protection Technology, İzmir, Türkiye
ORCID NO: 0000-0002-1295-6558

ÖZET

Doğal kaynakların tükenme riski ve sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda, biyokompozit malzemelere olan ilgi son yıllarda hızla artmaktadır. Bu alandaki araştırmalar, sınırlı kaynakların verimli kullanımı ve atık geri dönüşümünü iyileştirerek karbon emisyonlarını azaltmaya ve çevresel sorumluluğu artırmaya katkı sağlamaktadır. Bu çalışmada, biyokompozit üretiminde atık ahşap paletlerin takviye malzemesi olarak kullanım potansiyeli, kimyasal içerik analizleri aracılığıyla incelenmiş ve bu paletlerin, katma değeri yüksek ürünlere dönüştürülme olasılığı değerlendirilmiştir. Bu amaçla, birinci aşamada kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) ve akkavak (*Populus alba* L.) odun türlerine ait atık ahşap paletlerden elde edilen lignoselülozik maddeler öğütülmüş, ikinci aşamada tam kuru hale gelene kadar kurutulmuş, üçüncü aşamada TAPPI standartlarına göre kimyasal analizlere tabi tutulmuş ve son aşamada ise analiz sonuçları değerlendirilmiştir. Kimyasal analizler; solvent ekstraksiyonu, holoselüloz, alfa selüloz ve kül tayinlerini içermektedir. Analiz sonuçlarına göre, kızılçam odununun kimyasal bileşenleri %47,45 alfa selüloz, %23,83 hemiselüloz, %27,36 lignin, %0,61 ekstraktif madde ve %0,75 kül miktarı olarak belirlenmiştir. Akkavak odununun kimyasal bileşenleri ise %48,11 alfa selüloz, %29,26 hemiselüloz, %21,01 lignin, %1,08 ekstraktif madde ve %0,54 kül miktarlarından oluşmaktadır. Elde edilen sonuçlar ışığında, atık ahşap paletlerden elde edilen lignoselülozik liflerin yüksek alfa selüloz içeriğine sahip olması, bu atıkların biyokompozit üretimi için hem yenilenebilir hem de ekonomik alternatif doğal kaynaklar olarak önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Sürdürülebilir atık yönetimi, kimyasal içerik analizi, doğal lif, biyokompozit, selüloz, ahşap palet geri dönüşümü.

ABSTRACT

In response to the growing risk of natural resource depletion and in line with sustainability goals, interest in biocomposite materials has increased rapidly in recent years. Research in this area plays a crucial role in mitigating carbon emissions and enhancing environmental responsibility by optimizing the use of limited resources and improving waste recycling processes. In this study, the potential use of waste wooden pallets as reinforcement materials in biocomposite production was investigated through chemical composition analyses and the possibility of converting these pallets into high-value-added products was evaluated. For this purpose, lignocellulosic substances derived from waste wooden pallets of turkish red pine (*Pinus brutia* Ten.) and white poplar (*Populus alba* L.) wood species were ground in the first stage, completely dried in the second stage, subjected to chemical analysis according to TAPPI standards in the third stage and the analysis results were evaluated in the last stage. Chemical analyses included solvent extraction, determination of holocellulose, alpha-cellulose, and ash. According to the analysis results, the chemical composition of turkish red pine wood was determined as 47.45% alpha-cellulose, 23.83% hemicellulose, 27.36% lignin, 0.61% extractive substances, and 0.75% ash. For white poplar wood, the chemical composition was determined as 48.11% alpha-cellulose, 29.26% hemicellulose, 21.01% lignin, 1.08% extractive substances, and 0.54% ash. In light of the results, the high alpha-cellulose content of lignocellulosic fibres derived from waste wooden pallets indicates that these wastes have significant potential as both renewable and economical alternative natural resources for biocomposite production.

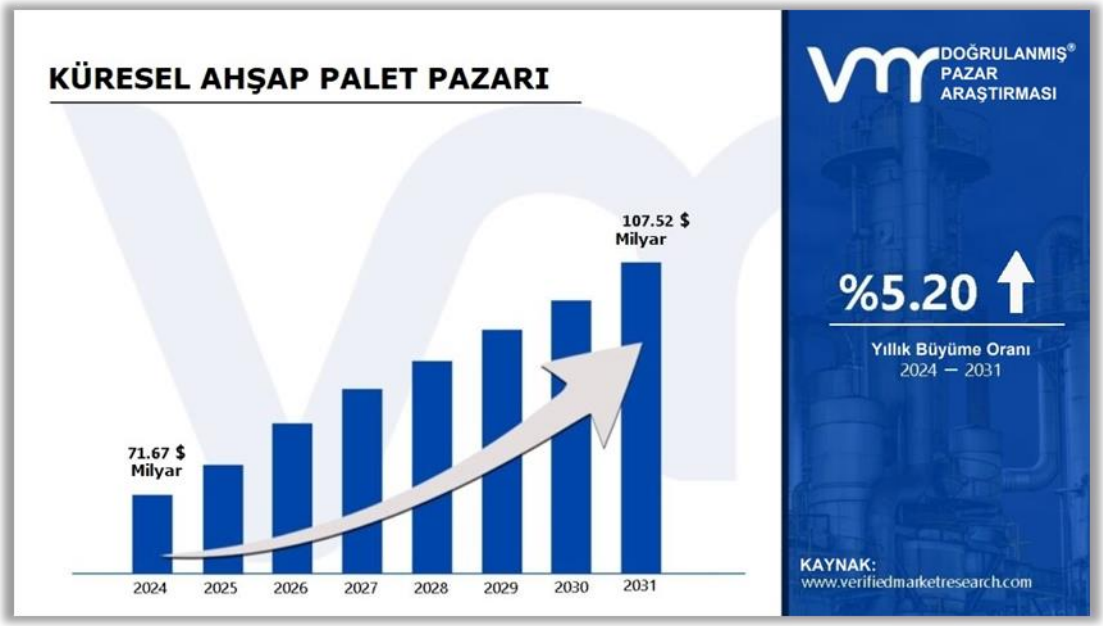
Keywords: Sustainable waste management, chemical composition analysis, natural fibre, biocomposite, cellulose, wooden pallet recycling.

GİRİŞ

Orman ürünleri endüstrisi, birincil ve ikincil imalat sanayi olarak üretim süreçlerine göre iki ana kategoriye ayrılır. Birincil imalat sanayi, odun gibi hammaddeleri doğrudan işleyerek kereste, kaplama, kontrplak, parke, yonga ve lif levha gibi ürünler üreten sektörleri kapsamaktadır. İkincil imalat sanayi ise, birincil imalat sanayinden elde edilen hammaddeleri işleyerek, ahşap palet, ahşap parke, ambalaj, doğrama, mobilya ve prefabrik ev gibi nihai ürünler üretmektedir (Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği (TOBB), 2011; Gıda ve Tarım Örgütü (FAO), 2022).

Dünya genelindeki sevkiyat hacmi açısından ahşap palet pazarı büyüklüğünün, 2025-2030 arası dönemi için yıllık tahmini %4,26'lık oranıyla sergileyerek 2025'te 5,74 milyar birimden 2030'a kadar 7,08 milyar birime artması beklenmektedir (Mordor Intelligence, 2025). Şekil 1'de de gösterildiği üzere, 2024 yılında 71,67 milyar dolar değerinde olan bu pazar büyüklüğünün, 2031 yılına kadar yaklaşık 107,52 milyar dolara ulaşması öngörülmektedir (Doğrulanmış Pazar Araştırması (VMR), 2024). Türkiye'de ahşap ambalaj üretiminde

Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği (TOBB)'ne kayıtlı en fazla üretici sayısı (42 firma) İzmir ilinde bulunmaktadır (TOBB, 2020).



Şekil 1. Küresel ahşap palet pazarı (VMR, 2024).

Paletler, iğne yapraklı ağaç, yapraklı ağaç ve kompozitler gibi çeşitli malzemelerden üretilebilir. Üretilen ahşap paletlerin hizmet ömrü ortalama 10 yıldır (Deviatkin ve ark., 2019). Ahşap paletlerin büyük bir kısmı, kısa hizmet ömürlerinden sonra atılmakta ve bu durum, büyük miktarlarda odun atığının oluşmasına neden olmaktadır (Buehlmann ve ark., 2009; Faraca ve ark., 2019). Atık ahşap paletlerin, 2040 yılına kadar %90'ının yeniden değerlendirilmesi gerekmektedir (FAO ve UNECE, 2024). Ahşap palet atığının tamamen doğal olması, doğal kaynak tüketimini azaltma açısından geri dönüşümün önemini artıran bir faktördür. Paletler, geri dönüşüm tesislerinde çeşitli işlemlerden geçirildikten sonra hammadde haline getirilip yeniden üretimde kullanılabilmektedir (Tandoğan, 2018).

Doğal lif takviyeli kompozitler için ikincil imalat sanayi ürünlerinden elde edilen doğal lif kaynakları (hurda ahşap palet, hizmet ömrünü tamamlamış tel direkleri, odun talaşı, kenevir, gürgen lifi vb.) üzerine yapılan birçok çalışma, bu tür atıkların biyokompozit üretiminde önemli bir potansiyel taşıdığını ve biyokompozit malzemelerin fiziksel, mekanik ve termal özelliklerini iyileştirdiğini ortaya koymuştur (Stark ve Rowlands, 2003; Özmen, 2012; Zimmermann ve Zattera, 2013; Migneault ve ark., 2014; Başalp ve ark., 2020; Iždinský ve ark., 2021; Narlıoğlu, 2022; Öncül ve Sever, 2025; Savran ve ark., 2025).

Doğal liflerin başlıca ana bileşenleri selüloz, hemiselüloz ve lignindir (John ve Thomas, 2008). Selüloz, dünya çapında en bol bulunan organik bileşik olup, bir biyopolimer olarak tüm bitkisel liflerin temel bileşenidir (Pettersen, 1984; Bledzki ve Gassan, 1999; Woiciechowski ve ark., 2020). Atık doğal lif kaynaklarının, işlenmemiş ilk halindeki gibi yüksek selüloz, hemiselüloz ve lignin içeriğine sahip olması, lignoselülozik maddelerin

biyokompozitlerin fiziksel, mekanik ve termal özelliklerini iyileştirerek daha dayanıklı malzemeler elde edilmesine katkı sağlar (Mohammed ve ark., 2015; El Achaby ve ark., 2018).

Iždinský ve ark. (2021), çalışmalarında yaptıkları Fourier Dönüşümlü Kızılötesi (FTIR) Spektroskopisi analizleri sonucunda ladin ağacına ait işlenmemiş tomruklar ile atık paletlerin odun liflerinin temel kimyasal bileşimlerinin hemen hemen aynı olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca, geri dönüştürülmüş ahşap paletlerden elde edilen lignoselülozik maddelerin biyokompozit üretiminde değerlendirilmesinin, ekonomik ve çevresel açıdan oldukça önemli bir avantaj sunabileceğini vurgulamışlardır.

Bu çalışma kapsamında, atık ahşap paletlerden elde edilen lignoselülozik maddelerin, yeni nesil biyokompozit malzeme üretiminde takviye malzemesi olarak kullanılabilirlik potansiyelinin kimyasal analizlerle araştırılması ve değerlendirilmesi hedeflenmiştir.

MALZEME VE YÖNTEM

MALZEME

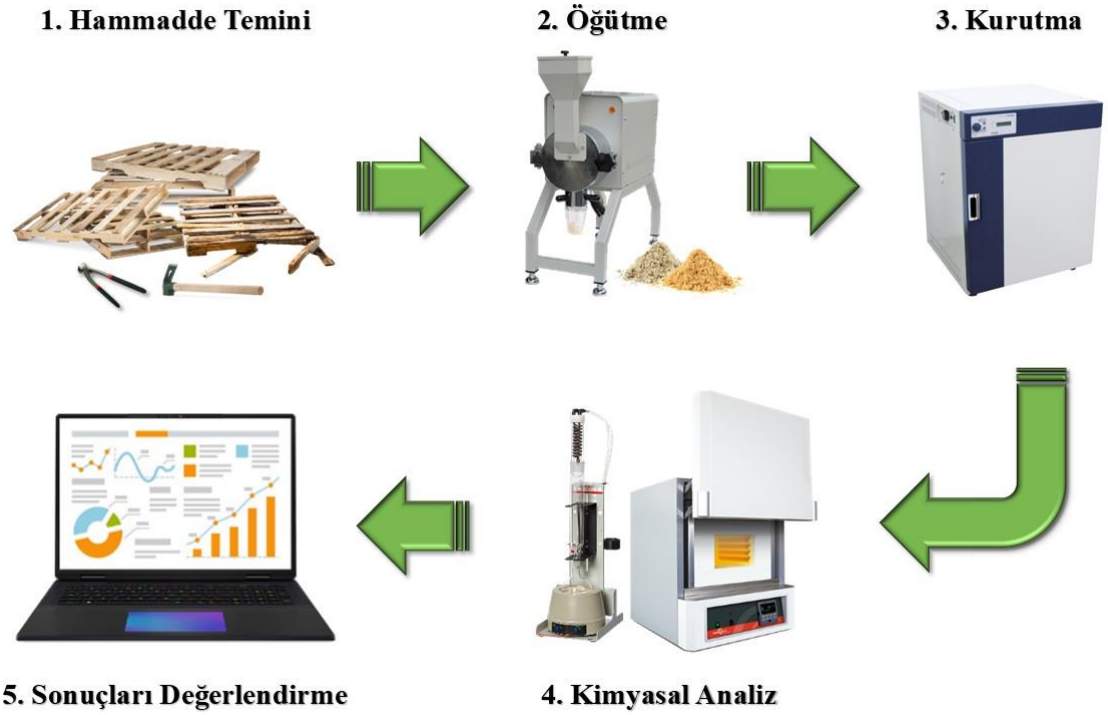
Lignoselülozik maddeler, İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi'ndeki hizmet ömrünü tamamlamış atık ahşap paletlerden temin edilmiştir (Şekil 2). Atık paletlerin öncelikle çam ve kavak cinslerine ait olduğu tespit edilmiştir. Daha sonra bu paletlerin ısıl işleme tabi tutulmuş kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) ve akkavak (*Populus alba* L.) türlerine ait olduğu üretildiği firmalardan teyit edilmiştir. Ayrıca, lignoselülozik maddelerin kimyasal bileşenlerini belirlemek amacıyla gerçekleştirilen analizlerde kullanılan Asetik Asit (CH_3COOH), Aseton, Etanol, Sodyum Hidroksit (NaOH), Sodyum Klorit ($NaClO_2$) ve Toluen kimyasalları Merck (Almanya) firmasından temin edilmiştir.



Şekil 2. Çalışmada değerlendirilen atık ahşap paletler.

YÖNTEM

Çalışmanın iş akış şeması grafiksel olarak Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Çalışmanın iş akış şeması.

Lignoselülozik maddelerin kimyasal analiz yöntemleri

Atık lignoselülozik maddelerin kimyasal analizleri için odun örnekleri T 257 cm-02 (TAPPI, 2012) standardına göre hazırlanmıştır.

Kül tayini

Atık lignoselülozik maddelerin inorganik madde içeriğinin belirlenmesi için T 211 om-02 (TAPPI, 2007) standardına göre kül tayini işlemi gerçekleştirilmiştir.

Solvent ekstraksiyonu

Atık lignoselülozik maddelerin ekstraktif mikarını tayin etmek için T 204 cm-97 (TAPPI, 2007) standardına göre solvent ekstraksiyonu işlemi gerçekleştirilmiştir.

Holoselüloz tayini

Atık lignoselülozik maddelerin holoselüloz miktarlarını belirlemek için klorit yöntemi (Wise ve Karl, 1962) ve T 222 om-21 (TAPPI, 2021) standardı kullanılmıştır.

Alfa selüloz tayini

Atık lignoselülozik maddelerin alfa selüloz miktarları T 203 cm-22 (TAPPI, 2022) standardına göre belirlenmiştir.

Nem içeriği tayini

Atık lignoselülozik maddelerin nem içeriği T 550 om-08 (TAPPI, 2013) standardına göre tayin edilmiştir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Kimyasal analiz sonuçlarına göre kızılçam ve akkavak odunlarının alfa-selüloz, hemiselüloz, lignin, ekstraktif madde, kül miktarları ve nem içerikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Lignoselülozik maddelerin kimyasal analiz ve nem içeriği sonuçları (%).

		Holoselüloz					
		Alfa Selüloz	**Hemiselüloz**	**Lignin**	**Ekstraktif Madde**	**Kül**	**Nem İçeriği**
Atık Ahşap Paletler	**Kızılçam**	47,45	23,83	27,36	0,61	0,75	11,25
	Akkavak	48,11	29,26	21,01	1,08	0,54	12,33

Not: Tablodaki sayısal değerler yüzde (%) olarak ifade edilmiştir.

Lignoselülozik maddelerin kimyasal analiz sonuçlarına göre, kızılçam odununun kimyasal bileşenleri %47,45 alfa selüloz, %23,83 hemiselüloz, %27,36 lignin, %0,61 ekstraktif madde ve %0,75 kül miktarından oluşmaktadır. Bu değerler, daha önce yapılmış çalışmalarla benzerlik göstermektedir (Tank ve ark., 1990; Çiçekler ve ark., 2017; Güler ve Yaşar, 2020; Pekgözlü ve ark., 2020; Yaşar ve Güler, 2022; Beram ve Yaşar, 2022; Bayram ve ark., 2024). Akkavak odununun kimyasal içeriği ise %48,11 alfa selüloz, %29,26 hemiselüloz, %21,01 lignin, %1,08 ekstraktif madde ve %0,54 kül miktarı şeklinde tayin edilmiştir. Akkavak odunu ile ilgili daha önce yapılmış çalışmalar, yine benzer sonuçlar sergilemiştir (Kačík ve ark., 2012; Mazzanti ve ark., 2012; Shahverdi ve ark., 2012; Stanciulescu ve ark., 2018; Sedlar ve ark., 2019; Supriyadi ve ark., 2024).

SONUÇ VE ÖNERİLER

Kimyasal analizlerle belirlenen lignoselülozik madde bileşenlerinin miktarları, gelecekte yapılacak diğer çalışmalarda hem kimyasal muamele işlemleri hem de biyokompozit malzemelerin fiziksel, mekanik ve termal özellikleri üzerinde önemli bir etki yapması beklenmektedir. Elde edilen verilere göre, kızılçam odununa ait atık ahşap paletlerden elde edilen liflerin %47,45 alfa selüloz, %23,83 hemiselüloz ve %27,36 lignin içerdiği; akkavak odununa ait atık ahşap paletlerden elde edilen liflerin ise %48,11 alfa selüloz, %29,26 hemiselüloz ve %21,01 lignin içerdiği tespit edilmiştir. Bu yüksek kimyasal bileşen oranlarına sahip lignoselülozik liflerin, biyokompozitlerde takviye malzemesi olarak kullanılması, bu malzemelerin fiziksel, mekanik ve termal özelliklerinin iyileştirilmesine olanak tanıyacak;

ayrıca bu malzemeler hem yenilenebilir hem de ekonomik bir kaynak olarak büyük bir potansiyele sahip olup karbon emisyonlarının azaltılmasına da önemli bir katkı sağlayacaktır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 2022-TDR-FEBE-0001 Numaralı Doktora Tez Destek Projesi ile desteklenmiştir. Ayrıca, Yükseköğretim Kurulu Başkanlığı tarafından yayınlanan 10712651 Numaralı Doktora Tezinden üretilmiştir.

KAYNAKLAR

Başalp, D., Tıhmınlıoğlu, F., Sofuoğlu, S. C., İnal, F. ve Sofuoğlu, A. (2020). Utilization of municipal plastic and wood waste in industrial manufacturing of wood plastic composites. Waste and Biomass Valorization, 11, 5419-5430. DOI: https://doi.org/10.1007/s12649-020-00986-7

Bayram, O., Özkan, U., Şahin, H. T. ve Göde, F. (2024). Malachite green (cationic dye) removal with modified *Pinus brutia* biochar. International Journal of Phytoremediation, 26(3), 416-426. DOI: https://doi.org/10.1080/15226514.2023.2246573

Beram, A. ve Yaşar, S. (2022). Comparison of different methods used in wood lignin determination. Forest and Agricultural Studies from Different Perspectives, 43-58. ISBN: 978-625-7148-46-7 URL: https://www.researchgate.net/publication/364056021 Son Erişim Tarihi: 03.03.2025

Bledzki, A. K. ve Gassan, J. (1999). Composites reinforced with cellulose based fibres. Progress in polymer science, 24(2), 221-274.
DOI: https://doi.org/10.1016/S0079-6700(98)00018-5

Buehlmann, U., Bumgardner, M. ve Fluharty, T. (2009). Ban on landfilling of wooden pallets in North Carolina: an assessment of recycling and industry capacity. Journal of Cleaner Production, 17(2), 271-275. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.06.002

Çiçekler, M., Tutuş, A. ve Özkan, H. G. (2017). Fireproof Paper Production from Turkish Red Pine (*Pinus brutia* Ten.) with Using Fire Retardants. Kastamonu University Journal of Forestry Faculty, 17(2), 275-281. DOI: https://doi.org/10.17475/kastorman.285252

Deviatkin, I., Khan, M., Ernst, E. ve Horttanainen, M. (2019). Wooden and plastic pallets: A review of life cycle assessment (LCA) studies. Sustainability, 11(20), 5750. DOI: https://doi.org/10.3390/su11205750

Doğrulanmış Pazar Araştırması (VMR) (2024). Wood Pallet Market By Wood Type (Hardwood Pallets, Softwood Pallets), Applications (Shipping and Transportation, Storage and Warehousing), End-User (Food and Beverages, Building and Construction), & Region for 2024-2031. URL:

https://www.verifiedmarketresearch.com/product/wood-pallet-market/ Son Erişim Tarihi: 03.03.2025

El Achaby, M., Kassab, Z., Barakat, A. ve Aboulkas, A. (2018). Alfa fibers as viable sustainable source for cellulose nanocrystals extraction: Application for improving the tensile properties of biopolymer nanocomposite films. Industrial Crops and Products, 112, 499-510. DOI: https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.12.049

Faraca, G., Boldrin, A. ve Astrup, T. (2019). Resource quality of wood waste: The importance of physical and chemical impurities in wood waste for recycling. Waste Management, 87, 135-147. DOI: https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.02.005

Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) (2022). Classification of forest products 2022 Report. URL: https://www.fao.org/3/cb8216en/cb8216en.pdf Son Erişim Tarihi: 03.03.2025

Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) ve Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu (UNECE) (2024). Forest Products Annual Market Review 2023-2024. URL: https://openknowledge.fao.org/server/api/core/ Son Erişim Tarihi: 03.03.2025

Güler, G. ve Yaşar, S. (2020). Properties of fiberboards produced from kermes oak (*Quercus coccifera* L.) and brutianpine (*Pinus brutia* Ten.) woods. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 44(2), 189-197. DOI: https://doi.org/10.3906/tar-1903-36

Iždinský, J., Reinprecht, L. ve Vidholdová, Z. (2021). Particleboards from recycled pallets. Forests, 12(11), 1597. DOI: https://doi.org/10.3390/f12111597

John, M. J. ve Thomas, S. (2008). Biofibres and biocomposites. Carbohydrate polymers, 71(3), 343-364. DOI: https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2007.05.040

Kačík, F., Ďurkovič, J. ve Kačíková, D. (2012). Chemical profiles of wood components of poplar clones for their energy utilization. Energies, 5(12), 5243-5256. DOI: https://doi.org/10.3390/en5125243

Mazzanti, P., Togni, M. ve Uzielli, L. (2012). Drying shrinkage and mechanical properties of poplar wood (*Populus alba* L.) across the grain. Journal of Cultural Heritage, 13(3), S85-S89. DOI: https://doi.org/10.1016/j.culher.2012.03.015

Migneault, S., Koubaa, A. ve Perré, P. (2014). Effect of fiber origin, proportion, and chemical composition on the mechanical and physical properties of wood-plastic composites. Journal of Wood Chemistry and Technology, 34(4), 241-261. DOI: https://doi.org/10.1080/02773813.2013.869604

Mohammed, L., Ansari, M. N., Pua, G., Jawaid, M. ve Islam, M. S. (2015). A review on natural fiber reinforced polymer composite and its applications. International journal of polymer science, 2015(1), 243947. DOI: https://doi.org/10.1155/2015/243947

Mordor Intelligence (2025). Wooden Pallet Market Size & Share Analysis - Growth Trends & Forecast (2025 - 2030). URL: https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/wooden-pallet-market Son Erişim Tarihi: 03.03.2025

Narlıoğlu, N. (2022). Comparison of mechanical properties of 3D-printed and compression-molded wood-polylactic acid (PLA) composites. BioResources, 17(2), 3291. DOI: https://doi.org/10.15376/biores.17.2.3291-3302

Öncül, M. ve Sever, K. (2025). Effect of Particle Size and Loading of Cherry Tree Branch Fillers on the Mechanical and Viscoelastic Properties of Polypropylene Composites. BioResources, 20(1). DOI: https://doi.org/10.15376/biores.20.1.1703-1712

Özmen, N. (2012). A study of the effect of acetylation on hemp fibres with vinyl acetate. BioResources, 7(3). URL: https://bioresources.cnr.ncsu.edu/ Son Erişim Tarihi: 03.03.2025

Pekgözlü, A. K., Taş, M., Ceylan, E. ve Hemming, J. (2020). Effect of the height of the stem on the polysaccharide composition of *Pinus brutia* (Ten) wood and kraft-pulp. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 44(3), 243-249. DOI: https://doi.org/10.3906/tar-1905-16

Pettersen, R. C. (1984). The chemical composition of wood. The chemistry of solid wood, 207, 57-126. DOI: https://doi.org/10.1021/ba-1984-0207.ch002

Savran, M., Türkan, M. O., Öncül, M. ve Aydın, L. (2025). Optimization of drilling parameters for minimizing delamination factor in biocomposites using multiple nonlinear neuro-regression and stochastic methods. Journal of Innovative Engineering and Natural Science, 5(1), 225-242. DOI: https://doi.org/10.61112/jiens.1564284

Sedlar, T., Ištok, I., Orešković, G., Stojnić, S., Goršić, E. ve Šefc, B. (2019). Physical properties of wood in white poplar clone'L-12'grown in Republic of Croatia and Serbia. Topola, 203(nesp), 45-51. URL: https://www.researchgate.net/profile/Tomislav-Sedlar/publication/331502747 Son Erişim Tarihi: 03.03.2025

Shahverdi, M., Dashti, H. ve Hossein, M. A. (2012). Establishing a kiln drying schedule for poplar (Populus alba L.) lumber of 7 cm thickness. BioResources, 7(1). URL: https://bioresources.cnr.ncsu.edu/wp-content/uploads/ Son Erişim Tarihi: 03.03.2025

Stanciulescu, I., Badea, A., Marculescu, C., Khachatryan, L. ve Boldor, D. (2018). Reaction constants and activation energies in pyrolysis for *Populus alba*. University Politehnica of Bucharest Scientific Bulletin, Series B: Chemistry and Materials Science, 80, 65-74. URL: https://www.scientificbulletin.upb.ro/ Son Erişim Tarihi: 03.03.2025

Stark, N. M. ve Rowlands, R. E. (2003). Effects of wood fiber characteristics on mechanical properties of wood/polypropylene composites. Wood and fiber science. Vol. 35, no. 2 (2003): Pages 167-174. URL: https://www.fpl.fs.usda.gov/documnts/pdf2003/ Son Erişim Tarihi: 03.03.2025

Supriyadi, D., Bodner, S., Keckes, J., Gindl-Altmutter, W. ve Veigel, S. (2024). Comparing the properties of cellulose nanofibrils from wood and bark of Norway spruce (*Picea abies* Karst.) and silver poplar (*Populus alba* L.). Carbohydrate Polymer Technologies and Applications, 7, 100527. DOI: https://doi.org/10.1016/j.carpta.2024.100527

Tandoğan, O. (2018). Atık Malzemelerinin Mimaride Kullanımı. Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi, 1(4), 189-202. URL: https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/595528 Son Erişim Tarihi: 03.03.2025

Tank, T., Göksel, E., Cengiz, M. ve Gürboy, B. (1990). Hızlı gelişen bazı iğne yapraklı ağaç türlerinin lif ve kağıt teknolojisi yönünden incelenmesi. Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University, 40(1). URL: https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/176285 Son Erişim Tarihi: 03.03.2025

TAPPI T 203 cm-22 (2022). Alpha-, beta- and gamma-cellulose in pulp.

TAPPI T 204 cm-97 (2007). Solvent extractives of wood and pulp.

TAPPI T 211 om-02 (2007). Ash in Wood, Pulp, Paper and Paperboard: Combustıon at 525°C.

TAPPI T 222 om-21 (2021). Acid-insoluble lignin in wood and pulp.

TAPPI T 257 cm-02 (2012). Sampling and Preparing Wood for Analysis.

TAPPI T 550 om-08 (2013). Determination of equilibrium moisture in pulp, paper and paperboard for chemical analysis.

Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği (TOBB) (2011). Türkiye Orman Ürünleri Meclisi Sektör Raporu, TOBB Yayın Sıra No: 2012/172. URL: https://www.tobb.org.tr/Documents/yayinlar/2012/ Son Erişim Tarihi: 03.03.2025

Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği (TOBB), Sanayi Veri Tabanı (2020). Ahşap kutular; sandıklar; kasalar; silindir kutular ve benzeri ahşap paketleme malzemeleri (kablo makaraları hariç) İllere Göre Dağılım. URL: http://sanayi.tobb.org.tr/ Son Erişim Tarihi: 03.03.2025

Wise. E.L. ve Karl, H.L., (1962). Cellulose and hemicelluloses in pulp and paper science and technology, Vol. 1. Pulp, Edited by C. Earl Libby, McGraw Hill-Book Co., New York.

Woiciechowski, A. L., Neto, C. J. D., de Souza Vandenberghe, L. P., de Carvalho Neto, D. P., Sydney, A. C. N., Letti, L. A. J., Karp S. G., Torres L. A. Z. ve Soccol, C. R. (2020). Lignocellulosic biomass: Acid and alkaline pretreatments and their effects on biomass recalcitrance–Conventional processing and recent advances. Bioresource technology, 304, 122848. DOI: https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122848

Yaşar, S. ve Güler, G. (2022). Effect of altitude on polysaccharide and lignin contents of brutian pine (Pinus brutia Ten.) wood and kraft pulp. Bilge International Journal of Science and Technology Research, 6(1), 9-15. DOI: https://doi.org/10.30516/bilgesci.982259

Zimmermann, M. V. ve Zattera, A. J. (2013). Recycling and reuse of waste from electricity distribution networks as reinforcement agents in polymeric composites. Waste management, 33(7), 1667-1674. DOI: https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.04.002

SEGMAN MONTAJ VE DEMONTAJ KUVVETLERİNİN DENEYSEL VE SEA YÖNTEMLERİYLE İNCELENMESİ

INVESTIGATION OF CIRCLIP ASSEMBLY AND DISASSEMBLY FORCES BY EXPERIMENTAL AND FEA METHODS

Serdar Kaan HORTOOĞLU
Makine Mühendisi, Tirsan Kardan A.Ş., Manisa, Türkiye
ORCID ID: 0009-0004-9560-8824

Onur AKKAŞ
Malzeme Yüksek Mühendisi, Tirsan Kardan A.Ş., Manisa, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-8038-8134

Sedat TARAKÇI
Makine Yüksek Mühendisi, Tirsan Kardan A.Ş., Manisa, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-9125-5919

Efe IŞIK
Dr. Makine Mühendisi, Tirsan Kardan A.Ş., Manisa, Türkiye
ORCID ID: 0000-0001-7657-317X

ÖZET

Segmanlı bağlantılar, düşük maliyet, hızlı montaj ve tekrar kullanılabilirlik avantajları nedeniyle birçok endüstriyel uygulamada yaygın olarak tercih edilmektedir. Otomotiv sektöründe, kardan mili sistemlerinde kullanılan segmanlar, iğne tipi rulmanların istavroz yuvasında güvenli şekilde tutulmasını sağlayarak çalışma esnasındaki istenmeyen hareketleri engellemektedir. Bu çalışmada, söz konusu segmanların montaj (çakma) ve demontaj (çekme) kuvvetleri deneysel olarak belirlenmiş ve elde edilen bulgular sonlu elemanlar analizi (SEA) ile karşılaştırılmıştır.

Deneysel çalışmalar için Shimadzu 300 kN basma test cihazı kullanılmış hem montaj hem de demontaj sürecinde kuvvet/mesafe eğrileri kaydedilmiştir. SEA modelinde 51CrV4 malzemesi için doğrusal olmayan malzeme parametreleri tanımlanmış; temas, sınır koşulları ve yükleme profili dikkate alınarak analizler gerçekleştirilmiştir. Ø27-Model için montaj kuvveti deneysel olarak 522 N, analizde 679 N (%30,1 fark); demontaj kuvveti ise deneysel 890 N'ye karşılık SEA'de 752 N (%15,5 fark) bulunmuştur. Ø32-Model montaj kuvveti deneysel olarak 571 N, SEA'de 725 N (%27 fark) olarak kaydedilirken; demontaj kuvveti deneysel 793 N iken SEA sonucu 953 N (%20,2 fark) olarak belirlenmiştir.

Elde edilen sonuçlar, deneysel ve sayısal verilerin büyük oranda uyumlu olduğunu ancak özellikle montaj aşamasındaki tahminlerde SEA'nin farklılık gösterdiğini göstermektedir. Bu sapmaların, sürtünme katsayısı, kontak yüzey alanı, malzeme modellemesi, segman profil

geometrisi ve ısıl işlem koşullarından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Çalışma sonuçları, segman tasarımının güvenilirliğini artırmak ve optimizasyon çalışmalarına katkıda bulunmak açısından önemli veriler sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler*:* Segman bağlantıları, Kardan mili, Segman, Sonlu elemanlar analizi

ABSTRACT

Circlip connections are widely preferred in many industrial applications due to their low cost, ease of assembly and reliability advantages. Within the automotive industry, circlip usage is particularly prevalent in cardan shaft systems. The primary function of these components in such applications is to prevent undesirable movement during operation. This is achieved by ensuring the secure and stable holding of needle-type bearings within the hub housing. The present study aims to determine the assembly (pushing) and disassembly (pulling) forces of these circlips experimentally and to compare the results with Finite Element Analysis (FEA).

The experimental studies were conducted using a Shimadzu 300 kN compression tester, and force/distance curves were recorded during both the assembly and disassembly processes. In the FEA model, nonlinear material parameters were defined for the 51CrV4 material and analyses were performed considering contact, boundary conditions and loading profile. For the Ø27 model, the assembly force was found to be 522 N experimentally and 679 N in the analysis (30.1% difference); the disassembly force was found to be 752 N in SEA (15.5% difference) against 890 N experimentally. For the Ø32-Model, the assembly force was recorded as 571 N experimentally and 725 N (27% difference) in FEA, while the disassembly force was determined as 953 N (20.2% difference) in FEA against 793 N experimentally.

The results obtained suggest that the experimental and numerical data are largely in agreement, but FEA deviates especially in the assembly stage predictions. The potential causes of these deviations are believed to include the friction coefficient, contact surface area, material modelling, piston ring profile geometry and heat treatment conditions. The findings of this study offer valuable insights that can inform the enhancement of circlip design, thereby contributing to the optimization of the processes under consideration.

Keywords: Circlip connections, Propeller shaft, Circlip, Finite element analysis.

GİRİŞ

Montaj ve demontaj mekanizmaları hem günlük hayatta hem de endüstriyel uygulamalarda kritik öneme sahiptir. Bunlardan segman türündeki bağlantılar, yeniden birleştirme ve ayırma imkânı tanımaları, düşük maliyet ve hızlı montaj avantajlarıyla geniş bir kullanım alanına sahiptir. Otomotiv ve havacılık sektörlerinde pek çok alanda karşımıza çıkan bu

mekanizmaların temel özelliği, montajda nispeten düşük kuvvet gerekmesine karşılık demontajda daha yüksek kuvvete ihtiyaç duyulması olarak tanımlanan mekanik asimetridir.

Otomotiv sektöründe kardan mili, motor gücünü diferansiyele aktaran önemli bir aktarma organıdır. Kardan mili sisteminde yer alan istavrozun etrafında iğne tip rulmanlar bulunur. Bu rulmanlar, kulaklı flanşlara sıkı geçme prensibiyle monte edilir. Ancak çalışma sırasında rulmanın eksenel hareketini önlemek için segman ile bu yöndeki hareketi engellenir. Segman, rulmanın istavroz yuvasından çıkmasını engelleyerek güvenli bir çalışma sağlar.

Önceki çalışmalarda, Chen ve arkadaşları, kiriş bazlı matematiksel model ve sonlu elemanlar analizleri kullanarak benzer kilitleme mekanizmalarındaki kuvvet değerlerini incelemiş; analiz sonuçlarının deneysel verilerle genel olarak benzer olmasına karşın hesaplama sürelerinde önemli farklılıklar olduğunu rapor etmişlerdir (Chen & Lan, 2012). Kumar ve arkadaşları ise farklı malzemeler için bu tür kilitleme bağlantılarının sonlu eleman analizini gerçekleştirmiş ve farklı yük yönleri altındaki performansını incelemişlerdir (Kumar, Poojari, & Choudhary, 2017). Suri ve arkadaşları ise yine benzer kilitleme sistemlerini sonlu elemanlar yöntemiyle modellemiş, deneysel sonuçlarla %45'e varan farklar gözlemleyerek bu farkları azaltmaya yönelik bir yöntem geliştirmeyi hedeflemişlerdir (Suri & Luscher, 2000).

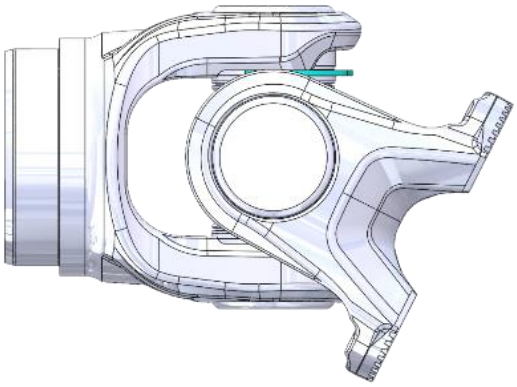
Guo ve Sun'un çalışması, küresel geometrili snap fit mekanizmasının fiziksel asimetrisini (montajın kolay, demontajın zor olmasının) hem deneysel hem de sonlu elemanlar analizi (FEA ile ortaya konmuştur (Guo & Sun, 2022). Buna ek olarak, Leyman ve Champagne'nin yapmış oldukları çalışmada, özellikle havacılık uygulamalarında, onarım süreçlerine yönelik yenilikçi soğuk sprey teknolojisini ve bu teknolojiyle segman onarımlarının nasıl gerçekleştirilebildiğini göstermektedir (Leyman & Champagne, 2009).

Otomotiv sektörüne dair detaylı bir inceleme ise Naveda'nın çalışması, segman optimizasyonuna yönelik kapsamlı bir çalışmadır. Bu tez, mil çapı, segman arası boşluk, segman kalınlığı, sürtünme katsayısı gibi ölçülerin montaj ve demontaj kuvvetleri üzerindeki etkisini deneysel verilerle ve sonlu elemanlar analizleriyle destekleyerek, tasarımda hangi parametrelerin daha kritik olduğunu belirlemiştir. Naveda'nın çalışmasında elde edilen sonuçlar, özellikle üretim sürecinde karşılaşılan toleranslar ve kontak belirsizlikleri gibi konulara da değinmekte, bu sayede tasarım sürecinin hem ergonomi hem de güvenilirlik açısından optimize edilebileceğini göstermektedir (Naveda, 2021). Ayrıca, en güncel gelişmeler arasında yer alan ve torus snap fit mekaniklerini inceleyen Guo ve Sun'un, torus geometrisinin negatif ve pozitif Gauss eğriliğinin segman davranışına olan etkilerini detaylandırarak, farklı snap fit türlerinin karşılaştırılmasına olanak tanımaktadır (Guo & Sun, 2023).

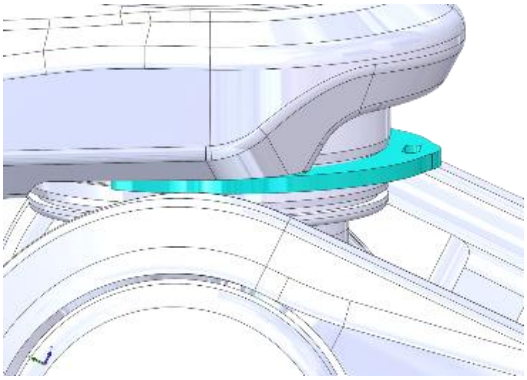
Bu çalışmalardan elde edilen veriler, farklı mil çapı ve segman ara mesafe ölçülerinin montaj/sökme kuvvetleri üzerindeki etkilerini ortaya koyarak, segman tasarımında geometrik ve malzeme parametrelerinin önemine dikkat çekmektedir. Literatürdeki bu kapsamlı çalışmalar, otomotivde kardan mili bağlantılarının yanı sıra, havacılıkta iniş takımı ve yapısal

sabitleme sistemlerinde segman optimizasyonuna yönelik yeni tasarım kriterlerinin geliştirilmesine de ışık tutmaktadır.

Bu çalışmada, kardan mili sisteminde kullanılan segmanların montaj (çakma) sırasında maruz kaldığı kuvvet ve demontaj (çekme) için gereken kuvvet hem deneysel olarak ölçülmüş hem de sonlu elemanlar analizleriyle tahmin edilmiştir. İki farklı segman modeli (Ø27-Model ve Ø32-Model) ele alınmış; deneysel test sonuçlarının ve sayısal analiz çıktılarının karşılaştırılmasıyla elde edilen farkların nedenleri tartışılmıştır. İstavroz segman bağlantısının genel görünümü Şekil 1'de gösterilmiştir. Segman bağlantı detayı Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 1 İstavroz segman bağlantısı genel görünümü



Şekil 2 İstavroz segman bağlantısı detayı

Araştırmanın genel metodolojisi, deneysel testler ile sayısal analizler arasında sağlam bir köprü kurarak, teorik modellemelerin pratik uygulamalarla entegrasyonunu sağlamayı amaçlamaktadır. İki farklı segman profilinin incelenmesi, metodolojinin hem güçlü hem de zayıf yönlerini belirlemede önemli rol oynayarak, mekanik bağlantı elemanlarının optimizasyonu için yol gösterici olacaktır. İstavroz parçasında segman uygulaması Şekil 3'de görülmektedir. A şekli montajlı görünümünü, B şekli de demontajlı görünümü vermektedir.



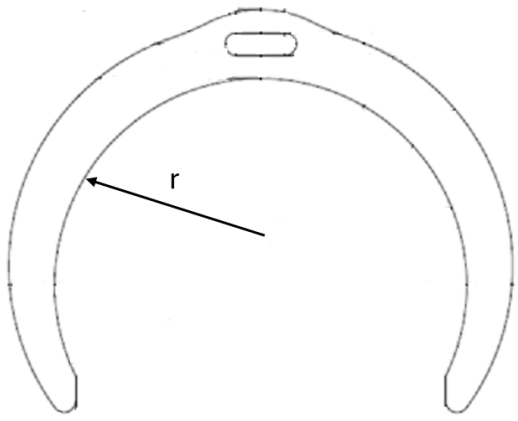
Şekil 3 İstavroz üzerinde segman uygulaması (Rtsauto, 2014)

METODOLOJİ

Bu çalışmada, farklı segman çaplarına göre çakma ve çıkarma kuvvetlerinin belirlenmesi için hem deneysel testler hem de sonlu elemanlar analizi (SEA) kullanılmıştır. Amacımız, mevcut segman tasarımının performansını detaylı olarak analiz ederek, bağlantı elemanının güvenliğini sağlayan kuvvet değerlerini ortaya koymaktır.

Ansys Ls-Dyna yazılımı kullanılarak oluşturulan segman, geometrisi, malzeme özellikleri, sınır koşulları ve yükleme koşulları tanımlandıktan sonra hazırlanmıştır (Ansys®, 2019). Sayısal analiz modelinde segman, katı (Solid) olarak modellenmiş ve explicit analiz yöntemi ile dinamik davranışı yakalanmıştır. Ø27-Model ve Ø32-Model için aynı analiz parametreleri uygulanmıştır.

Segman tasarımı Şekil 4'deki gibidir. İki farklı segman için çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Modeller iç çaplarına göre isimlendirilmektedir. Ø27-Model için iç yarıçap (r) 27mm, Ø32-Model için ise iç yarıçap (r) 32 mm'dir.



Şekil 4 Segman görünümü

Sonlu Elemanlar Modeli

Sayısal analiz modelinde segman hareketinin doğru bir şekilde tespit edilebilmesi için non-lineer malzeme tanımının yapılması zorunludur. Bu bağlamda, 51CrV4 segman malzemesine ait non-lineer malzeme verileri Ansys malzeme kütüphanesinden elde edilmiştir.

Segmanın malzemesi DIN EN 10132-4 (51CrV4) yay çeliğidir. Malzemenin mekanik özellikleri Tablo 5'de görülmektedir. Ls-Dyna programında malzeme modellemesi için "024_piecewise_linear_plasticity" malzeme kartı non-lineer malzeme modeli kullanılmıştır.

Tablo 5 Malzeme Özellikleri

Malzeme Özellikleri		
Yoğunluk	7800	kg/m^3
Elastisite Modülü	210	GPa
Poissons Oranı	0.3	
Shear Modülü	80	GPa
Akma Mukavemeti	1000	MPa
Kopma Mukavemeti	1200	MPa

Segman parçası, "Hex8" eleman tipi kullanılarak sonlu elemanlar modeline dönüştürülmüştür. Toplam 43.101 elemandan oluşan ağın ortalama kalitesi 0,794 olarak belirlenmiştir. Sonlu elemanlar ağ özellikleri Tablo 6'de detaylandırılmıştır. Segman parçasının sonlu elemanlar genel görünümü Şekil 5'de gösterilmiştir.

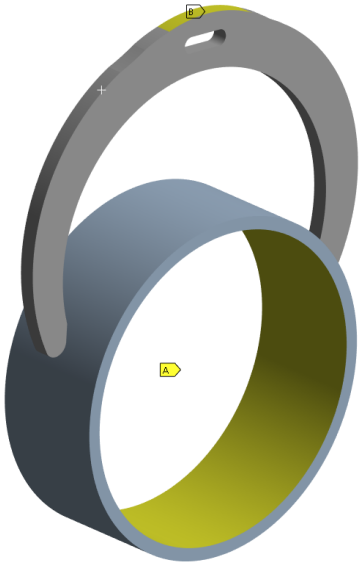


Şekil 5 Segman profilinin sonlu elemanlar ağ görünümü

Tablo 6 Sonlu Elemanlar Ağ Özellikleri

Toplam Düğüm Noktası Sayısı	55170
Toplam Eleman Sayısı	43101
Eleman Kalitesi	0,7938
Aspect Oranı	2,02
Jacobian Oranı	0,6168
Minimum eleman kenar uzunluğu	0,20 mm

Analiz için Ls-Dyna programından yararlanılmıştır. Analiz modelinin genel görünümü Şekil 6'daki görülmektedir. Analiz modelinde parçaların katılıkları segman için elastik, boru için ise rijit olarak seçilmiştir.



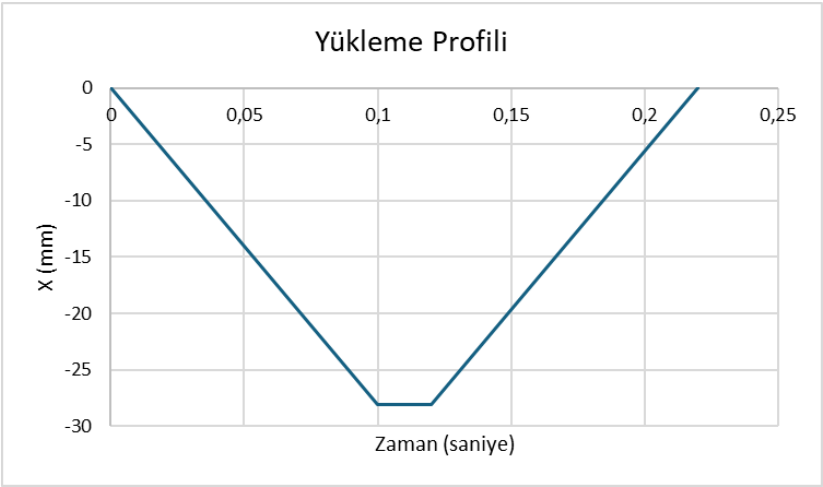
Şekil 6 Sınır Koşulları

Analizlerde boru rijit (hareketsiz) kabul edilmiş, segman üzerine X ekseni yönünde yükleme profili uygulanarak montaj (çakma) ve demontaj (çekme) süreçleri simüle edilmiştir. Yükleme profili, Tablo 7 ve Tablo 8'de gösterilmektedir.

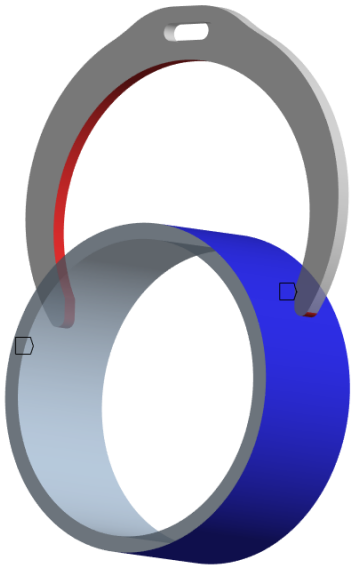
Tablo 7 Simülasyonda uygulanan yükleme profili değerleri

Zaman (saniye)	X (mm)
0	0
0,1	-28,1
0,12	-28,1
0,22	0

Tablo 8 Yükleme profili grafiği



Segman ile boru arasında “Automatic_node_to_surface” kontak tanımlaması yapılmış; kontak yüzeylerde sürtünme katsayısı 0,2 olarak belirlenmiştir. İlgili kontak yüzeyler, Şekil 7’de kırmızı (contact) ve mavi (target) renklerle görselleştirilmiştir.



Şekil 7 Kontak görünümü

Test Prosedürü

Deneysel testlerde, segmanların çakma operasyonu, segmanın tam geçme durumuna ulaşana kadar gerçekleştirilmiştir. Sistem belirli bir dengeye ulaştıktan sonra, çıkarma (demontaj) operasyonuna başlanmış ve segmanın başlangıç konumu referans alınmıştır.

Testler, en az üç farklı numune üzerinde tekrarlanarak sonuçların tekrarlanabilirliği ve güvenilirliği sağlanmıştır. Deneysel ölçümler, Shimadzu 300 kN basma test cihazı kullanılarak yapılmıştır. Test cihazı Şekil 8’de gösterilmiştir.



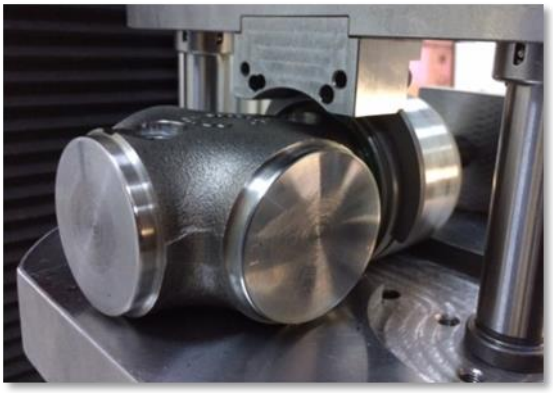
Şekil 8 Test cihazı (Shimadzu, 2022)

Test sonuçları, test cihazının enine kesitinde çizilen kuvvet/uzama grafiği ile değerlendirilmiştir. Testler, çakma ve çekme operasyonları için 10 mm/dak hız kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Test sırasında aparatlardan okunan reaksiyon kuvvetleri, 0,01 saniyelik zaman aralıklarıyla grafiğe aktarılmıştır.

Çakma operasyonu öncesi parçanın görünümü Şekil 9'da görülmektedir. Segmanın istavroza tam geçme durumu ise Şekil 10'da görülmektedir.



Şekil 9 Test cihazında çakma öncesi görünümü



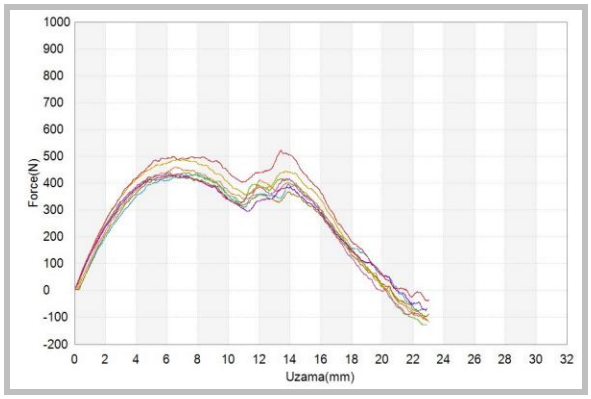
Şekil 10 Test cihazında tam çakma durumunun görünümü

SONUÇLAR

Ø27-Model Sonuçları

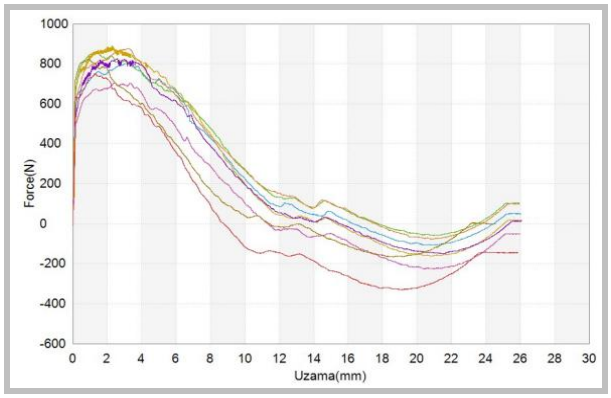
Test Sonuçları

Ø27-Model için gerçekleştirilen basma (çakma) testi sonucunda elde edilen kuvvet/mesafe grafiği Şekil 11, segmanın ucundaki profilin neden olduğu iki belirgin yükselme göstermektedir. Bu yükselmelerin, çakma işlemi sırasında segmanın kademeli olarak yerleşmesinden kaynaklandığı yorumlanmaktadır. Deneysel ölçümlere göre, maksimum basma kuvveti 522 N olarak kaydedilmiştir.



Şekil 11 Ø27-Model Çakma (montaj) Test Sonucu

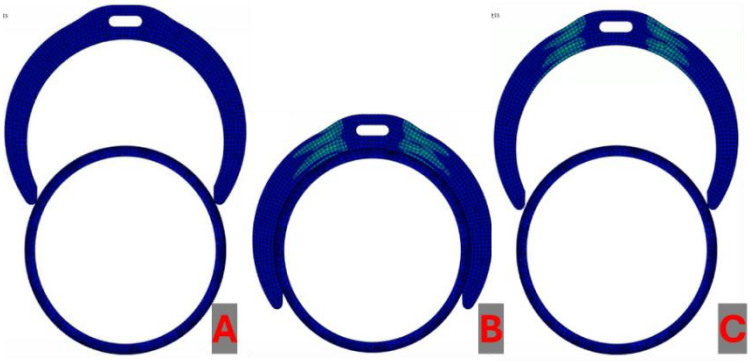
Aynı model için çekme testinde elde edilen kuvvet/mesafe grafiği Şekil 12, demontaj sırasında segmanın yerinden çıkarılması için uygulanan maksimum kuvvetin 890 N olduğunu göstermektedir. Bu değer, segmanın çakma sırasında oluşturulan kilitleme etkisinin aşılması için gerekli kuvvetin yüksek olduğunu ortaya koymaktadır.



Şekil 12 Ø27-Model Çekme (demontaj) Test Sonucu

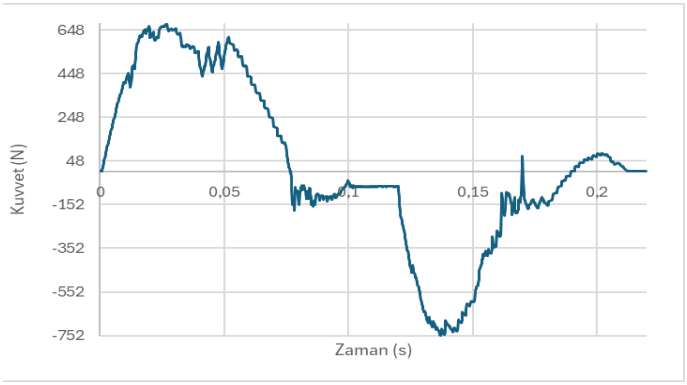
Sonlu Elemanlar Sonuçları

Analiz sonuçları Şekil 13 Ø27-Model çakma öncesi (A konumu), tam geçme (B konumu) ve demontaj sonrası kalıcı gerilme (C konumu) bölgelerini net bir şekilde ortaya koymuştur. Özellikle, segman ucunda ve temas bölgelerinde yüksek gerilme konsantrasyonları gözlemlenmiştir.



Şekil 13 Ø27-Model Analiz Sonuçları

Segman ile boru arasındaki temasın etkisini gösteren kuvvet/zaman grafiği Şekil 14, montaj ve demontaj süreçleri sırasında oluşan dinamik reaksiyon kuvvetlerini görülmektedir. Montaj operasyonunda segmanın geçmesi için gerekli olan kuvvetin 679 N olduğu, montajı tamamlanmış segmanı çıkarmak için gerekli olan kuvvetin ise 752 N olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 14 Ø27-Model Operasyon Sırasında Oluşan Reaksiyon Kuvvet Grafiği

Farklı Sürtünme Katsayılarının Etkisi

Segman ile boru arasındaki sürtünme katsayısının montaj (çakma) ve demontaj (çekme) kuvvetine olan etkisi incelenmiştir. Sürtünme katsayısının montaj ve demontaj sırasında reaksiyon kuvvetlerine olan etkileri Tablo 9'te verilmiştir. Sonuçları incelediğimizde sürtünme kuvveti artınca sistemde oluşan reaksiyon kuvvetleri de artmaktadır.

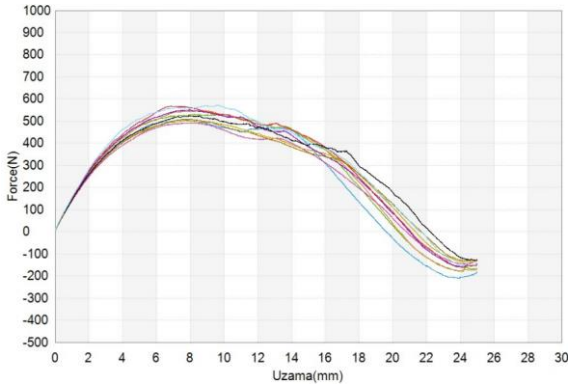
Tablo 9 Ø27-Model İçin Farklı Sürtünme Katsayılarının Montaj ve Demontaja Sırasında Oluşturduğu Kuvvetler

Sürtünme	Montaj (N)	Demontaj (N)
0,1	500,4	402,4
0,117	522,1	425,4
0,13	539,0	443,9
0,15	564,5	475,6
0,17	590,3	507,7
0,18	603,2	522,4
0,22	655,3	585,3
0,23	668,2	602,4
0,25	694,5	635,1
0,3	760,7	711,5

Ø32-Model Sonuçları

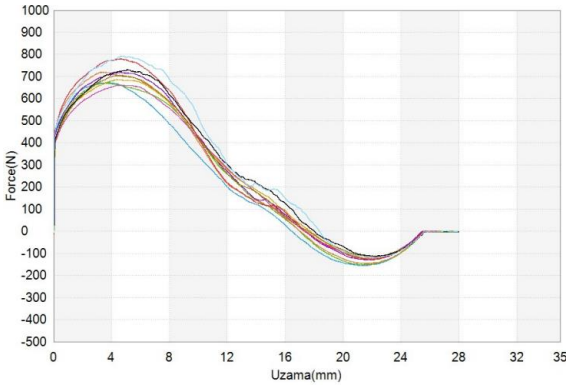
Test Sonuçları

Ø32-Model basma testlerinde elde edilen kuvvet/mesafe grafiği Şekil 15 yine segmanın ucundaki profilin etkisini göstermektedir. Ancak, Ø32-Model için ölçülen maksimum basma kuvveti 571 N olarak belirlenmiştir. Bu artış, Ø32-Model kullanılan segman iç yarıçapının (32 mm), montaj sırasında daha yüksek kuvvet gerektiren bir yerleşim mekanizmasına işaret edebileceğini göstermektedir.



Şekil 15 Ø32-Model Çakma (montaj) Test Sonucu

Ø32-Model için çekme testinde elde edilen kuvvet/mesafe grafiği Şekil 16' da gösterilmiştir. demontaj sırasında segmanın yerinden çıkarılması için uygulanan maksimum kuvvetin 793 N olduğunu göstermektedir. Bu değer, montaj ve demontaj kuvvetleri farklılık olduğunu ortaya koymaktadır.



Şekil 16 Ø32-Model Çekme (demontaj) Test Sonucu

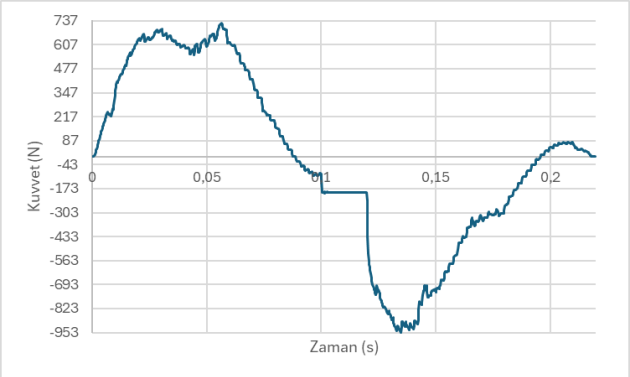
Sonlu Elemanlar Sonuçları

Sonlu elemanlar analiz sonuçları Şekil 17 Ø32-Model için de benzer aşamalarda (A: çakma öncesi, B: tam geçme, C: demontaj sonrası) segman üzerindeki gerilme dağılımını ortaya koymaktadır. Ø32-Model, segmanın belirli bölgelerinde (özellikle temas noktalarında) Ø27-Model kıyasla farklı yoğunlukta gerilme bölgeleri gözlemlenmiştir.



Şekil 17 Ø32-Model Analiz Sonuçları

Segman ile boru arasındaki temasın etkisini gösteren kuvvet/zaman grafiği Şekil 18, montaj ve demontaj süreçleri sırasında oluşan dinamik reaksiyon kuvvetlerini görülmektedir. Montaj operasyonunda segmanın geçmesi için gerekli olan kuvvetin 725 N olduğu, montajı tamamlanmış segmanı çıkarmak için gerekli olan kuvvetin ise 953 N olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 18 Ø32-Model Operasyon Sırasında Oluşan Reaksiyon Kuvvet Grafiği

TARTIŞMA

Ø27-Model için montaj işleminde deneysel değer 522 N olarak ölçülürken, SEA sonucu 679 N olarak gerçekleşmiştir. Bu durum, SEA'nın montaj kuvvetini %30,1 oranında fazla tahmin ettiğini göstermektedir. Demontaj işleminde ise, deneysel ölçüm 890 N iken, SEA sonucu 752 N olarak bulunmuş; bu da SEA'nın demontaj kuvvetini %15,5 daha düşük öngördüğünü göstermektedir.

Ø32-Model için ise, montaj işleminde deneysel değer 571 N, SEA sonucu 725 N olup, montaj kuvvetinde %27 artış gözlemlenmiştir. Demontaj işlemi için deneysel 793 N değeri karşısında SEA, 953 N vermiş; bu da %20,2'lik bir artışı işaret etmektedir. Ø27-Model ve Ø32-Model için yapılan deneysel testler ve SEA sonucu Tablo 10'da özetlenmiştir.

Tablo 10 Sonuçların Karşılaştırma Tablosu

Model	İşlem	Deneysel (N)	SEA (N)	Fark (%)
Ø27	Montaj	522	679	30,08%
Ø27	Demontaj	890	752	-15,51%
Ø32	Montaj	571	725	26,97%
Ø32	Demontaj	793	953	20,18%

Bu sonuçlar, SEA modellemesinde kullanılan kontak tanımlamaları, non-lineer malzeme özellikleri ve sınır koşullarının segman davranışını bir ölçüde idealize ettiğini göstermektedir. Özellikle montaj sürecinde, SEA'nın deneysel verileri olduğundan yüksek tahmin etmesi dikkat çekicidir. Ø27-Model segman geometrisi ve yerleşme mekanizması, montaj kuvvetlerinde daha belirgin bir artışa neden olurken; Ø32-Model kuvvet öngörülerindeki artış oranları görece daha düşük kalmış ve kuvvet dağılımının daha homojen olduğu gözlemlenmiştir.

Genel olarak, deneysel verilerle SEA çıktıları arasındaki fark her iki model için de %30'un altında kalmakta, bu da modellemenin temel eğilimleri yakaladığını göstermektedir. Ancak montaj kuvvetlerinde özellikle SEA'nın deneysel sonuçları yüksek tahmin ettiği, demontaj

aşamasında ise hem düşük hem de yüksek yönde sapmaların gözlenebildiği vurgulanmalıdır. Bu tutarsızlıklara yol açan başlıca etkenler şu şekilde özetlenebilir:

- Gerçek sürtünme katsayısının deney koşullarında zamanla değişmesi veya analizdeki değerden farklı olması,
- Isıl işlem koşullarının segman malzemesinin davranışına etkisinin analizde kullanılan sabit değerlerle tam örtüşmemesi,
- Üretim toleransları, yüzey pürüzlülükleri ve segman profil geometrisindeki küçük sapmaların analiz modelinde idealize edilmesi,
- Montaj esnasında oluşabilecek deformasyonlarının modelde tam yansıtılamaması.

Buna karşın, demontaj (çekme) kuvvetinde genellikle montajdaki kadar büyük farkların olmaması, modelin özellikle ayrılma aşamasındaki mekanik davranışın önemli bir bölümünü doğru şekilde yansıttığına işaret etmektedir. Sürtünme katsayısının doğru belirlenmesi, segman tasarımının güvenilirliğini ve montaj/demontaj işlemlerinin etkinliğini artırmada kritik rol oynar. Gelecekte, sürtünme, temas koşulları ve malzeme parametrelerinin daha hassas ölçümlerle belirlenmesiyle birlikte deneysel sonuçlarla sayısal analizlerin daha yüksek uyum yakalaması beklenmektedir.

Çalışmanın sonuçları, segmanların montaj sırasında ihtiyaç duyulan kuvvetlerin hassas ölçümleriyle birlikte, segman geometrisinin özellikle iç yarıçap, segman arası boşluk ve segman kalınlığı gibi parametrelerin optimize edilmesinin önemini ortaya koymaktadır. Bu parametrelerin dikkatle ayarlanması, montaj işlemlerinin daha hızlı ve hatasız gerçekleşmesini sağlayarak otomotiv sektöründe üretim hızını artırıp maliyetleri düşürmeye katkı sunabilir.

Öte yandan, havacılık uygulamalarında segman bağlantılarının dayanıklılığı ve güvenilirliği kritik öneme sahiptir. Çalışmada elde edilen veriler, segmanların demontaj kuvvetlerinin doğru öngörülmesi ve tasarımın bu yönde optimize edilmesi sayesinde, bakım ve onarım süreçlerinde karşılaşılabilecek sorunların minimize edilebileceğini göstermektedir. Böylece, uçaklar ve diğer havacılık bileşenlerinin servis sürekliliği ve güvenliği artırılabilir.

Son olarak, deneysel sonuçlar ile sonlu elemanlar analizlerinin birleşimi, segman tasarımında hangi ölçülerin daha kritik olduğunu netleştirmektedir. Özellikle farklı mil çapı ve segman arası boşluk ölçülerinin etkileri detaylı olarak incelenmiş; bu veriler, tasarım sürecinde parametrelerin hassas ayarlanması için sağlam bir temel oluşturarak hem otomotiv hem de havacılık sektörlerinde daha verimli, güvenilir ve ekonomik segman bağlantılarının geliştirilmesine olanak tanımaktadır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yürütülmesinde AR-GE ve Test Merkezindeki tüm imkanlarını sağlayan Tirsan Kardan San. ve Tic. A.Ş.'ye teşekkür ederiz.

Kaynakça

Ansys®, A. (2019). *Coupled Field Analysis Guide 19.2.* USA: ANSYS, Inc.

Chen, Y.-H., & Lan, C.-C. (2012, April 5). Design of a constant-force snap-fit mechanism for minimal. *Mechanism and Machine Theory*(55), 34-50.

Guo, X.-L., & Sun, B. (2023, November 9). Mechanics of A Thin-Walled Torus Snap. *Preprints.org (www.preprints.org)*, s. 2-11.

Guo, X.-L., & Sun, B.-H. (2022, October 28). Assembly and disassembly mechanics of a spherical snap fit. *Theoretical and Applied Mechanics Letters*, s. 1-7.

Kumar, R., Poojari, R. R., & Choudhary, A. k. (2017). Design and Analysis of Snap-Fit. *International Journal of Interdisciplinary Innovative Research & Development, 02*(03), 150-109.

Leyman, P. F., & Champagne, V. K. (2009). *Cold Spray Process Development for the Reclamation of the Apache Helicopter Mast Support.* U.S.A.: U.S. Army Research Laboratory.

Naveda, L. A. (2021, May). Snap Ring Joint Design for Transmissions at Volvo Cars. *Chalmers University of Technology Department of Industrial and Material Science*, s. 1-93.

Rtsauto. (2014, January 03). Rtsauto: https://www.rtsauto.com/e30-bmw-and-mercedes-driveshaft-and-u-joint-rebuild-non-serviceable-u-joints/ adresinden alındı

Shimadzu. (2022, September 31). Shimadzu: https://www.ssi.shimadzu.com/products/materials-testing/uni-ttm/autograph-ags-x-series/index.html adresinden alındı

Suri, G., & Luscher, A. F. (2000, December). Structural Abstraction in Snap-fit. *Journal of Mechanical Design*, s. 395-402.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE WEAR BEHAVIOR OF TiB_2 REINFORCED GRAY CAST IRON

TiB_2 TAKVİYELİ GRİ DÖKME DEMİRİN AŞINMA DAVRANIŞININ DENEYSEL İNCELENMESİ

Rifat YAKUT
Assist. Prof. Dr., Batman University, Faculty of Technology, Department of Energy Systems Engineering
ORCID NO: 0000-0003-0059-3785

Ömer ÇİFTÇİ
Batman University, Institute of Graduate Studies, Department of Mechanical Engineering
ORCID NO: 0000-0003-0500-7730

ABSTRACT

Gray cast iron (GCI), reinforced with 0, 0.8, 1.2, and 2.0 wt.% titanium diboride (TiB_2), was produced using the sand-casting process. Hardness test specimens, compression test specimens, and sliding wear test specimens were prepared in accordance with the standards. Specimens with 0.8, 1.2, and 2.0 wt.% TiB_2 reinforcement, as well as unreinforced specimens (0 wt.% TiB_2), were subjected to hardness, compression, and sliding wear tests. Sliding wear tests were carried out on the wear samples at 5 N, 10 N, and 15 N loads. The specimen with 2.0 wt.% TiB_2 reinforcement exhibited the highest hardness value of 230 HB in the hardness tests. The specimen with 2.0% TiB_2 reinforcement also showed the highest compressive strength, with an average value of 878 MPa. Wear volume, wear rate, and friction coefficients were analyzed at loads of 5 N, 10 N, and 15 N. In the wear test of the reference sample without TiB_2 reinforcement (0 wt.%), an increase in volumetric wear losses was observed as the applied load increased. A similar increase in volumetric wear losses was observed for the 0.8, 1.2, and 2.0 wt.% TiB_2 reinforcement levels.

Keywords: Gray Cast Iron (GCI), Titanium Diboride (TiB_2), Sliding wear.

ÖZET

Ağırlıkça %0, 0.8, 1.2 ve 2.0 titanyum diborür (TiB_2) ile takviye edilmiş gri dökme demir (GDD) kum döküm prosesi kullanılarak üretilmiştir. Sertlik test numuneleri, sıkıştırma test numuneleri ve kayma aşınması test numuneleri standartlara uygun olarak hazırlanmıştır. %0.8, %1.2 ve %2.0 TiB_2 takviyeli numuneler ve takviyesiz numuneler (%0 TiB_2) sertlik, basma ve kayma aşınması testlerine tabi tutulmuştur. Kayma aşınması testleri aşınma numuneleri üzerinde 5 N, 10 N ve 15 N yüklerde gerçekleştirilmiştir. %2.0 TiB_2 takviyeli test numunesi 230 HB ile en yüksek sertlik değerini göstermiştir. Aynı %2.0 TiB_2 takviye oranına sahip test numunesi ortalama 878 MPa değeriyle en yüksek basma dayanımını göstermiştir.

Aşınma hacmi, aşınma oranı ve sürtünme katsayıları 5 N, 10 N ve 15 N yüklerde analiz edilmiştir. Ağırlıkça %0 TiB_2 takviyesiz referans numunenin aşınma testinde, uygulanan yük değeri arttıkça hacimsel aşınma kayıplarında artış gözlenmiştir. Hacimsel aşınma kayıplarında benzer bir artış ağırlıkça % 0.8, 1.2 ve 2.0 TiB_2 takviye oranları için de gözlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Gri Dökme Demir (GDD), Titanyum Diborür (TiB_2), Kayma aşınması.

INTRODUCTION

There is a high degree of carbon in cast iron compared to steel, and it is located near cementite or eutectic graphite (González-Sierra et al. 2023). Cast iron has a major component of carbon that segregates during solidification and is found in the microstructure as a separate structural element. Cast iron is classified according to the shape and form of its carbon, which affects its properties (Çolak et al. 2022). Generally, cast irons consist of multiphase iron alloys that contain 2.14 to 4 wt. % C and 0.5 to 3 wt. % Si. (Köse, Çolak, and Şüküroğlu 2024). There is a direct relationship between the chemical composition, casting method, cooling conditions, and microstructural characteristics of cast iron. All these influence the shape and distribution of the graphite and the microstructure of the metal matrix (Günen, Çetin, and Subaş 2023). GCI, characterized by lamellar graphite, is a specialized form of iron. High concentrations of silicon and carbon during the cooling phase produce this type of cast iron. As the molten iron cools, the carbon decomposes to form flakes of graphite, known as lamellar graphite. Typically, flake graphite in GCI has a uniform distribution and random orientation of lamellar graphite. The properties of cast iron are directly influenced by the quantity, dimensions, morphology, and distribution of the graphite (Köse et al. 2024). During slow cooling of cast iron, the presence of significant amount of carbon and silicon facilitates the transformation of carbon into lamellar graphite, hence the term GCI. Many factors affect the microstructure, including cooling rate, alloying materials, casting temperature, and the processes of spheroidization and inoculation (Çolak et al. 2022). Engineers in many fields have been using GCI to meet their requirements for over a century (López, Massone, and Boeri 2020). GCI is used extensively due to its superior mechanical properties, exceptional castability and cost efficiency, which makes it 20-40% cheaper than steel (Jabbari Behnam, Davami, and Varahram 2010; Wang and Li 2020; Yakut and Çiftçi 2023; Yang et al. 2015). In terms of machinability (Ji et al. 2024), corrosion resistance (Khaled, Atia, and Moussa 2014), wear resistance (Z. kai Chen et al. 2015; Fan et al. 2014), better thermal conductivity (Meng et al. 2024), relatively low melting point (Z. K. Chen et al. 2015), high damping capacity (Seikh et al. 2019; Wang et al. 2022) and castability (Xiao et al. 2020), GCIs perform very well. They are used to make gearbox housings, pulleys, and crankcases in the marine and automotive industries. The machine tool industry uses them to make machine bases, while the automotive sector uses them to make brake discs (Biermann et al. 2014; Reis et al. 2022). The composition of GCI is affected by its chemical makeup, the inoculants employed, and the

cooling conditions that occur before casting. The amount of graphite, as well as the dimensions, shape, and distribution of the graphite lamellar are decisive for the mechanical properties of GCI (Jabbari Behnam et al. 2010; Khaled et al. 2014). Factors such as chemical composition, inoculation method, heat treatment, and cooling conditions influence the microstructure of GCI and classify it as an iron-based alloy with a high carbon content (Ji et al. 2024).

Wear is one of the main reasons for the failure of moving mechanical parts (Ekici and Özsaraç 2019). GCI has better wear resistance in dry running under light loads. In addition to lubricating the contact surface, graphite flakes form graphite films (Razaq et al. 2024; Riahi and Alpas 2003). The wear resistance of brittle or hard-phase materials is greater than that of ductile materials (Ananth et al. 2018). GCI properties are strongly influenced by the morphology of the graphite and the volume fraction of the matrix, whether pearlite or ferrite. A higher hardness can increase the resistance to deformation during wear tests and thus improve wear resistance. To improve the mechanical properties it might be a good idea to increase the volume fraction of pearlite while decreasing the interlamellar spacing in GCI (Li et al. 2020).

GCIs fail over time due to wear and tear damage while working in contact with each other, depending on their use in the industry. These failures result in the materials having to be replaced with new ones before the end of their service life. The aim of this study is to improve the strength of GCIs with TiB_2 reinforcement to avoid this unfavorable condition. In this study, an attempt was made to increase the strength values of GCIs by reinforcing them with titanium diboride (TiB_2). We then examined the compressive strength, hardness, and wear characteristics of the samples with various additions. We conducted the abrasion tests in a dry setting using a linear reciprocating flat ball abrasion tester. For this, an Al_2O_3 grinding ball with a diameter of 6 mm was utilized. Experiments were conducted at loads of 5 N, 10 N, and 15 N, with sliding velocities of 20 cm/s and total sliding distances of 500 m. The coefficients of friction were quantified and the data were gathered during the experiment. In the research study, the effect of load variations on the wear properties of TiB_2-reinforced and unreinforced gray cast iron under identical test conditions were investigated.

MATERIALS AND METHODS

Production of Test Materials

The experimental samples were produced by the Hema Industry casting factory (Türkiye). An electric induction metal melting furnace was used to melt the GCI test specimens. The chemical compositions of the GCI samples cast in sand molds at 1410 °C are listed in Table 1. Compression tests, Brinell hardness tests and abrasion tests were carried out on these GCI samples. Titanium diboride is known as a ceramic material with relatively high durability and strength (Munro 2000). Titanium diboride has high electrical conductivity, good thermal conductivity, high hardness, a high melting point as high as 3225℃, low density as low as 4.5 g/cm^3, and chemical stability. These properties make titanium diboride material for wear and

high-temperature applications. (Subramanian, Murthy, and Suri 2007). Titanium diboride with 99.5+% purity and 200 mesh size used in the study as reinforcement material was purchased from Nanography Nano Technology (Türkiye).

Table 1. Chemical Compositions of Samples (wt.%)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Al	Co	Cu	Mg	Ti	Sn	B	TiB_2
3.77	1.71	0.821	0.0337	0.0533	0.334	0.0082	0.0031	0.0073	0.145	0.0015	0.0398	0.104	<0.0010	-
3.32	1.67	0.835	0.0352	0.0421	0.348	0.0062	0.0027	0.0073	0.143	0.0014	0.0395	0.101	0.0130	0.8
3.52	1.73	0.804	0.0345	0.0382	0.351	<0.0050	0.0027	0.0073	0.146	0.0015	0.0361	0.102	0.0367	1.2
3.56	1.72	0.799	0.0344	0.0461	0.336	0.0071	0.0024	0.0071	0.145	0.0014	0.0342	0.105	0.0413	2.0

Sample Preparation for Experimentations

The hardness tests were prepared separately for each reinforcement ratio in the dimensions Ø20mm x 10mm using the processing method of the manufactured GCI samples. The surfaces of these samples were measured at minimum 3 points at different locations using an Innovatest NEXUS 3000 Brinell hardness tester. The hardness values were determined by averaging these measurements.

Compression test specimens with dimensions of Ø11 mm x 22 mm were produced from GCIs produced with different reinforcement ratios using machining methods. A total of 12 specimens, three specimens for each reinforcement ratio, were prepared. Generally, the ratio ho/do = 2 is used in compressive strength tests on metallic materials (Yakut and Çiftçi 2023). In this study, the compression ratio was determined as ho/do=2 considering the previous studies in the literature. A Zwick Roell Z600 universal testing machine was used for the compression tests. The test speed of the compression test experiments is 0.5 mm/min.

The GCI specimens for each reinforcement ratio were produced using the machining method and measured 20 mm x 10 mm. Sliding wear tests were performed with these specimens. The surfaces of the GCI specimens produced by the machining method to be used for the tests were polished. The wear tests were conducted in a dry sliding environment according to ASTM G133. The wear test was carried out using the ball-on-flat sliding method by moving linearly in the forward and backward directions on the surface of the test specimens. An Al2O3 ball with a diameter of 6 mm was used as an abrasive. 5 N, 10 N, and 15 N load values, 500 m total sliding distance, air temperature 25 °C, and sliding speed 20 cm/s were used. With the help of a profilometer, 3 measurements were taken from different parts of the wear marks. Wear calculations were made according to these measurement results.

RESULTS AND DISCUSSION

According to the study of Baş (2021), GG25-based GCI has an average hardness value of 202 HB (Baş 2021). In his study, Yakut (2023) looked at the hardness of GCI, which is made up of 3.13C, 2.09Si, 0.73Mn, 0.0337P, 0.0941S, 0.313Cr, 0.0382Ni, 0.518Cu, 0.0032Mg, 0.0060Nb, 0.0198Ti, 0.0115V, 0.135Sn, 0.0025B, and 0.0086Zr (wt%), and the rest is Fe. He found that the average hardness of GCI was 215 HB (Yakut 2023). In their study, Demir and

Uygur (2017) determined the average hardness value of GCI iron with a chemical composition of 3.53C, 1.96Si, 0.766Mn, 0.061P, 0.038S, 0.021Cr, 0.012Ni, 0.473Cu, 0.008Al, 0.021Ti, 0.013V (wt.%) and the balance Fe as 173 HB (Demir and Uygur 2017). In their study, Yakut and Çiftçi (2023) measured the hardness value of GCI iron with a chemical composition of 3.30C, 2.70Si, 0.63Mn, 0.016P, 0.080S, 0.28Cr, 0.12Cu, 0.001Al, 0.025Ti (wt.%) and the balance Fe as 224 MPa (Yakut and Çiftçi 2023). When comparing the hardness measurement results of this study with the previous SCI results, it was found that the results were consistent with the literature. The minimum hardness measurement for the 0 wt.% TiB_2 (unreinforced) test specimen was 203 HB. The hardness of the sample with 0.8 wt.% TiB_2 reinforcement increased and was measured as 206 HB. The 1.2 wt.% TiB_2 reinforced specimen exhibited a constant hardness value of 206 HB and did not increase despite the increasing reinforcement ratio. The morphology of graphite, including its shape, distribution, amount, and size, and the matrix structure of ferrite and pearlite influence the mechanical properties of cast iron. The hardness increases when the proportion of pearlite in the matrix structure increases and the graphite is evenly distributed. The increase in the proportion of pearlite in the matrix structure and the regular distribution of the graphite morphology increase the hardness value (Şen 2018). In this experiment, as the reinforcement ratio increased, the hardness value increased for the 2.0 wt.% TiB_2 specimen, reaching an average hardness of 230 HB. According to the hardness test results, the sample with 2.0 wt.% TiB_2 reinforcement had the highest average hardness value. Based on the addition ratios, Figure 1 illustrates the Brinell hardness values of the samples.

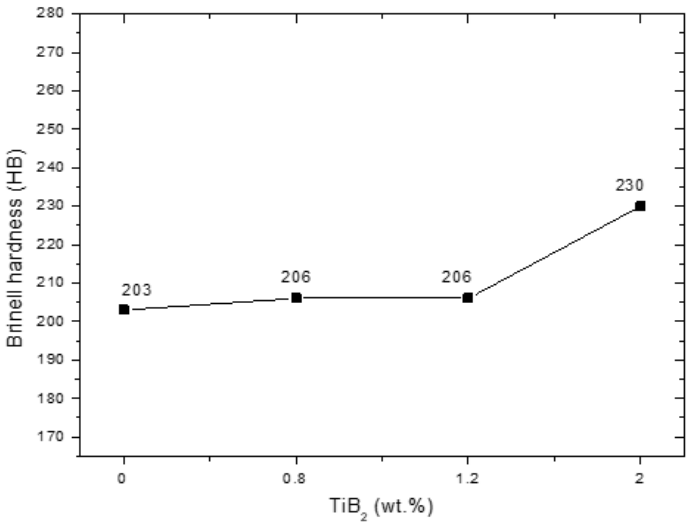


Figure 1. Hardness of CGI samples depends on TiB_2 amount.

Brittle materials typically undergo compressive strength tests, with the expectation that compressive strength values will surpass tensile strength values (Yakut 2023). In his study, Yakut (2023) established the chemical composition of 3.13C, 2.09Si, 0.73Mn, 0.0337P, 0.0941S, 0.313Cr, 0.0382Ni, 0.518Cu, 0.0032Mg, 0. 0060Nb, 0.0198Ti, 0.0198V, 0.0115V, 0.135Sn, 0.0025B, 0.0086Zr (wt.%) and the remainder Fe and measured the average

compressive strength of GCI to be 780 MPa (Yakut 2023). In their study, Yakut and Çiftçi (2023) measured the compressive strength of GCI with a chemical composition of 3.30C, 2.70Si, 0.63Mn, 0.016P, 0.080S, 0.28Cr, 0.12Cu, 0.001Al, 0.025Ti (wt.%) and the balance Fe as 927 MPa (Yakut and Çiftçi 2023). In their study, Demir and Uygur (2017) determined the value of tensile strength of GCI iron with a chemical composition of 3.53C, 1.96Si, 0.766Mn, 0.061P, 0.038S, 0.021Cr, 0.012Ni, 0.473Cu, 0.008Al, 0.021Ti, 0.013V (wt.%) and the balance Fe as 230 MPa (Demir and Uygur 2017). The compressive strength of GCI is about 3-5 times higher than the tensile strength (Baş 2021). Converting the tensile results to compressive results gives a minimum compressive stress of 690 MPa and a maximum compressive stress of 1150 MPa. The compressive test value for 0 wt.% (unreinforced) TiB_2 in the study is 800 MPa, which is between the two given values. In his study, Baş (2021) determined the tensile strength of GG25-based GCI to be 231 MPa (Baş 2021). When the tensile values are converted to compressive results, the above formula gives a minimum compressive stress of 693 MPa and a maximum compressive stress of 1155 MPa. The compression test value of 800 MPa for the reference specimen without 0 wt.% TiB_2 reinforcement lies between these two values. The compression test results agree with the literature. The compression test results of the sample with 0.8 wt.% TiB_2 reinforcement were averaged and this value was determined as 826 MPa. The compression test results of the sample with 1.2 wt.% TiB_2 reinforcement were averaged and this value was measured as 834 MPa. The compression test results of 2.0 wt.% TiB_2 reinforced specimen were averaged and found to be 878 MPa. The results showed an increase in compressive stresses (Figure 2) with increasing TiB_2 reinforcement ratios.

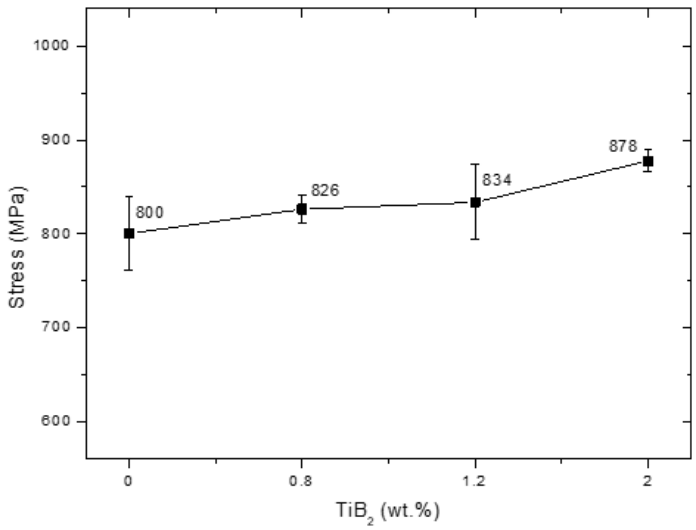


Figure 2. Maximum compression strength of CGI samples depending on TiB_2 amount.

GCIs were removed from sand molds and used as analysis samples for SEM imaging. An SEM instrument (Carl Zeiss Sigma 300 VP) was used to examine the morphology of the prepared GCI samples. The SEM analysis in Figure 3 shows the lamellar graphite structures of the GCIs reinforced with 1.2 wt.% TiB_2 and 2.0 wt.% TiB_2. The good wear resistance of

the GCIs is due to the refined grain size and surface hardness resulting from the higher pearlite volume percentage (Razaq et al. 2024).

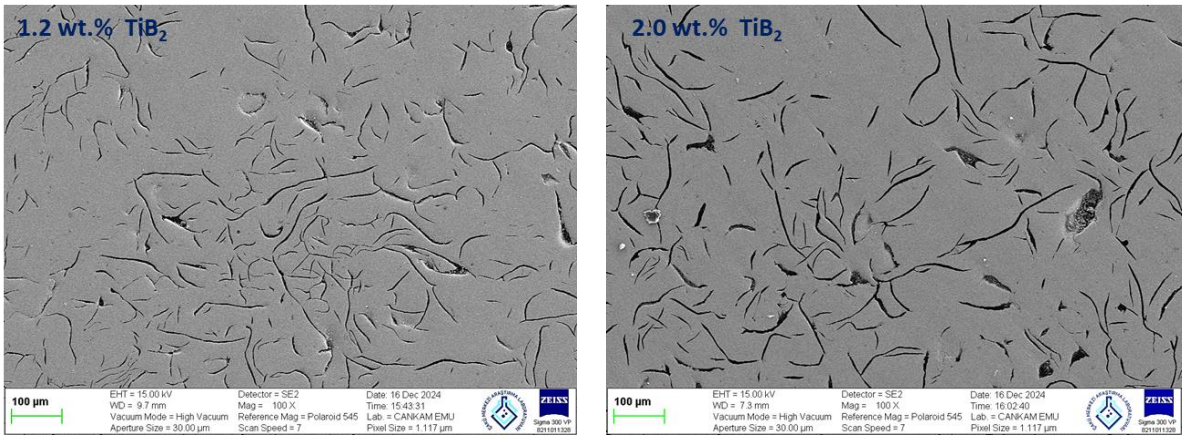


Figure 3. SEM images of the microstructure of samples: a) 1.2 wt. % TiB_2 and b) 2.0 wt. % TiB_2

Surface deformation due to wear in GCIs is the main reason why the required service life cannot be achieved. To overcome this problem, modifying the microstructure of mass-produced GCIs by adding alloying elements to control certain properties, such as wear resistance, is thought to be a good way of ensuring that the systems work properly (Razaq et al. 2024). The resistance of metallic materials to sliding wear is generally determined by the hardness value. Based on the wear tests carried out in this study, Table 1 shows how the coefficient of friction, volume loss, and wear rates of the reinforced samples have changed over. Profilometer traces of the wear track are used to measure wear losses (Lathabai 1998). In the study, when the 0.8 wt.% TiB_2 reinforced specimen was loaded with 5 N, the wear volume loss reached the highest level of 1.27×10^{-1} mm^3. When the 0.8 wt.% TiB_2 reinforced specimen was loaded with the same 5 N, the wear rate was the highest with 5.07×10^{-5} mm^3/Nm. When a 10 N load was applied, the 1.2 wt.% TiB_2 reinforced specimen showed the highest wear volume loss of 2.08×10^{-1} mm^3. For the 1.2 wt.% TiB_2 reinforced specimen, it exhibited the highest value with a wear rate of 4.15×10^{-5} mm^3/Nm at an applied load of 10 N. When the 0.8 wt.% TiB_2 reinforced specimen was loaded with 15 N, the wear volume loss reached the highest level of 3.90×10^{-1} mm^3. When the 0.8 wt.% TiB_2 reinforced specimen was loaded with 15 N, the wear rate was found to be the highest value of 5.20×10^{-5} mm^3/Nm. When the 2.0 wt.% TiB_2 reinforced sample was loaded with 5 N, the coefficient of friction was found to be the highest value of 0.595. When the 0 wt.% TiB_2 reinforced sample was loaded with the same 5 N, the coefficient of friction was found to be the lowest value of 0.496. When the 1.2 wt.% TiB_2 reinforced sample was loaded with 10 N, the coefficient of friction was found to be the highest value of 0.574. The lowest coefficient of friction of the specimen with 2.0 wt.% TiB_2 reinforcement under 10 N load is 0.479. The highest value of the coefficient of friction is 0.597 for the specimen with 2.0 wt.% TiB_2 reinforcement under a

load of 15 N. On the other hand, the minimum coefficient of friction at the same load value was 0.472 for the reference specimen without 0 wt.% TiB_2 reinforcement. The wear results of this experimental research are presented in Table 2. The coefficient of friction is illustrated in Figure 4. At the same reinforcement ratio, the friction coefficients of GCI decreased with increasing load. Liu et al., found that an important factor affecting wear resistance is hardness and that hardness and wear resistance are inversely proportional (Liu et al. 2023).

Table 2. Volume loss, wear rates, and average friction coefficient of the samples.

Sample	Load (N)	Volume Loss ($\times 10^{-1}$ mm^3)	Wear Rate ($\times 10^{-5}$ mm^3/Nm)	Coefficient of Friction (COF)
0 wt.% TiB_2	5	1.02	4.07	0.496
0.8 wt.% TiB_2	5	1.27	5.07	0.591
1.2 wt.% TiB_2	5	1.10	4.41	0.530
2.0 wt.% TiB_2	5	1.10	4.38	0.595
0 wt.% TiB_2	10	1.99	3.98	0.502
0.8 wt.% TiB_2	10	2.03	4.07	0.555
1.2 wt.% TiB_2	10	2.08	4.15	0.574
2.0 wt.% TiB_2	10	1.20	2.41	0.479
0 wt.% TiB_2	15	2.70	3.59	0.472
0.8 wt.% TiB_2	15	3.90	5.20	0.497
1.2 wt.% TiB_2	15	2.62	3.50	0.567
2.0 wt.% TiB_2	15	1.64	2.18	0.597

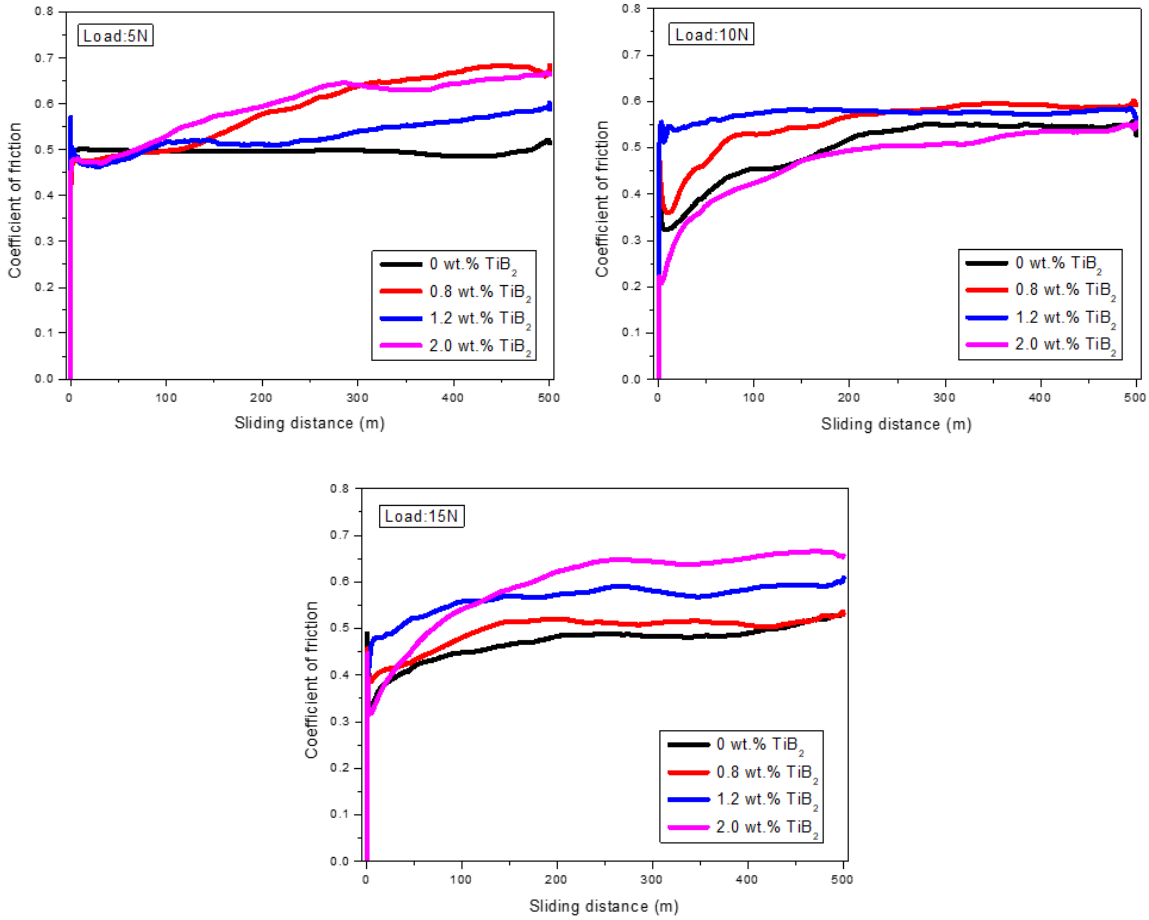


Figure 4. Coefficient of frictions of samples under different loads: a) 5N, b)10N, and c) 15N.

The wear surfaces of the samples tested for dry sliding wear were analyzed using a scanning electron microscope (Carl Zeiss Sigma 300 VP). Figure 5a shows the marks on the worn surface. The deep pits on the wear surfaces are shown in Figure 5d-e. On the wear surfaces of the specimens with the same reinforcement ratio, the wear volume losses increased with increasing load values. The deeper and more pronounced grooves of the wear scars can be seen in Figure 5e-f. With increasing load, volume loss due to wear increases (Wang et al. 2003).

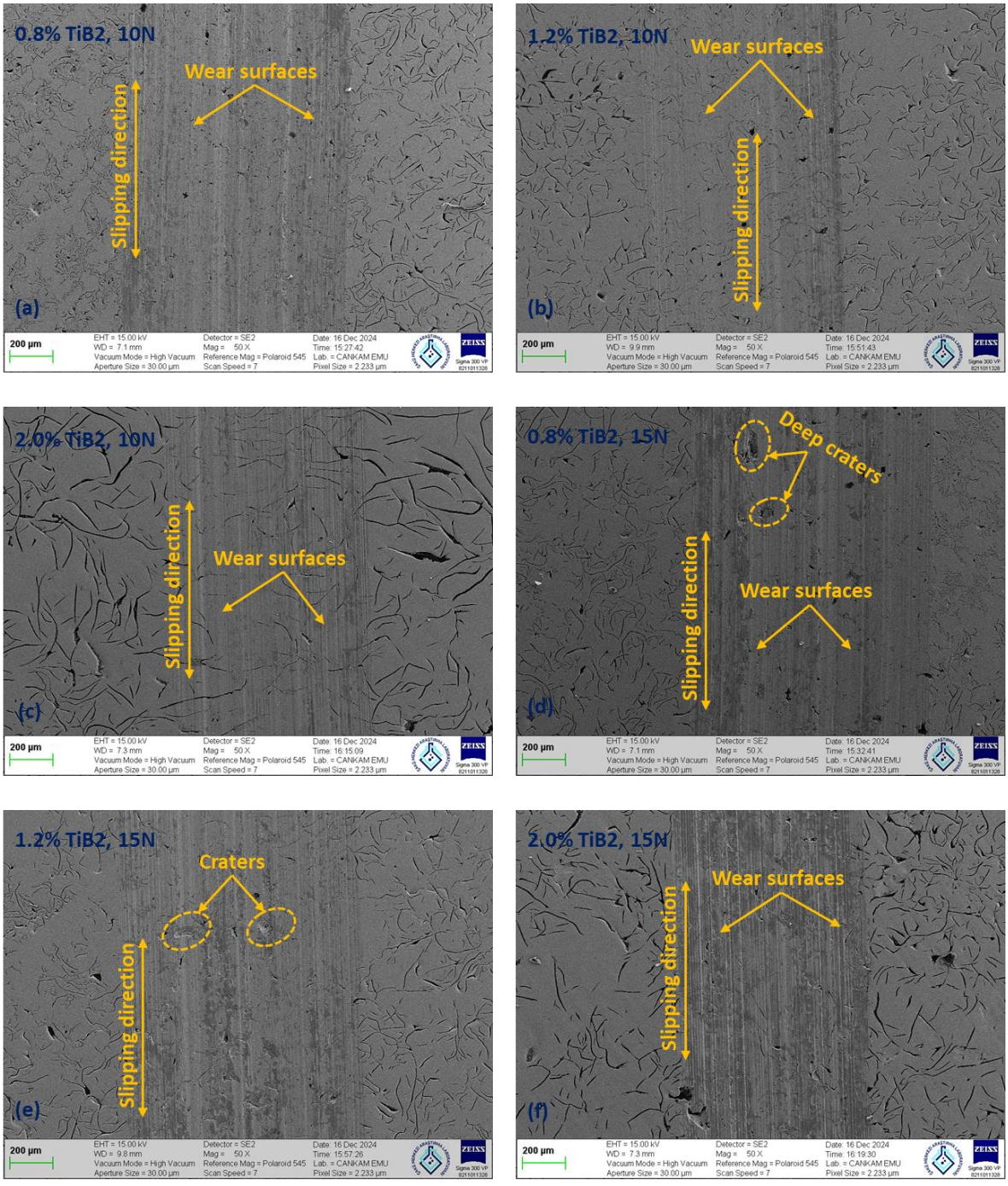


Figure 5. SEM images of worn surfaces

CONCLUSIONS

GCIs, which are used in many areas, fail due to sliding wear. For this reason, many devices used in industry are out of service before the end of their service life. The materials used in these devices should be wear-resistant to extend their lifespan. The present study examined the performance of GCIs reinforced with different ratios of TiB_2 in terms of compression, hardness, and wear behavior. This study produced the following results:

- As a result of hardness evaluations, the 2.0 wt.% TiB_2 reinforced sample recorded the highest hardness value of 230 HB.
- An increase in volumetric wear loss was observed when analyzing wear as a function of increasing load on specimens with identical reinforcement ratios.
- When the SEM images of the wear marks were analyzed after the wear tests, it was seen that the wear marks were clearly formed. It was observed that wear pits were formed especially at high loads.
- In the compression tests, the highest average value of 878 MPa was measured for the specimen reinforced with 2.0 wt.% TiB_2, which had the highest degree of reinforcement. The compression test results of 0.8, 1.2 and 2.0 wt.% TiB_2 reinforced specimens are higher than the results of the reference specimen with 0 wt.% TiB_2 (unreinforced).

REFERENCES

Ananth, S., J. Udaya Prakash, T. V. Moorthy, and P. Hariharan. 2018. “Optimization of Wear Parameters for Grey Cast Iron under Different Conditions Using Grey Relational Analysis.” *Materials Today: Proceedings* 5(2):7346–54. doi: 10.1016/j.matpr.2017.11.404.

Baş, Burhan. 2021. “Production of GG25 Based Cast Iron Engine Blocks and Investigation of the Properties.” Sakarya University.

Biermann, D., M. Kirschner, H. J. Maier, F. W. Bach, K. Möhwald, and J. Schaup. 2014. “Active Brazed Ceramic Cemented Carbide Compound Drills for Machining Lamellar Graphite Cast Iron.” *Production Engineering* 8:365–72. doi: 10.1007/s11740-014-0547-x.

Chen, Zhi Kai, Shu Chao Lu, Xi Bin Song, Haifeng Zhang, Wan Shi Yang, and Hong Zhou. 2015. “Effects of Bionic Units on the Fatigue Wear of Gray Cast Iron Surface with Different Shapes and Distributions.” *Optics and Laser Technology* 66:166–74. doi: 10.1016/j.optlastec.2014.08.016.

Chen, Zhi kai, Ti Zhou, Ruo yu Zhao, Hai feng Zhang, Shu chao Lu, Wan shi Yang, and Hong Zhou. 2015. “Improved Fatigue Wear Resistance of Gray Cast Iron by Localized Laser Carburizing.” *Materials Science and Engineering: A* 644:1–9. doi: 10.1016/j.msea.2015.07.046.

Çolak, M., E. Uslu, ç. Teke, F. Şafak, ö. Erol, Y. Erol, Y. Çoban, and M. Yavuz. 2022. "Investigation of the Effect of Solidification Time and Addition Amount of Inoculation on Microstructure and Hardness in Lamellar Graphite Cast Iron." *Archives of Foundry Engineering* 22(4):24–33. doi: 10.24425/afe.2022.140248.

Demir, İsmail Deniz Kağan, and Ilyas Uygur. 2017. "Investigation of Mechanical Properties of Cryogenically-Treated Cast Iron Materials." *Duzce University Journal of Science and Technology* 5(1):210–19.

Ekici, Mehmet, and Uğur Özsaraç. 2019. "Influence of Pouring Temperature on the Formation of Spheroidal and Lamellar Graphite in Cast Iron." *European Journal of Engineering and Natural Sciences* 3(2):124–30.

Fan, K. L., G. Q. He, M. She, X. S. Liu, Q. Lu, Y. Yang, D. D. Tian, and Y. Shen. 2014. "High-Temperature Low Cycle Fatigue Behavior of a Gray Cast Iron." *Materials Characterization* 98:37–46. doi: 10.1016/j.matchar.2014.10.005.

González-Sierra, N. E., Javier Flores Méndez, M. A. Meraz-Melo, Ana C. Piñón Reyes, German Ardul Munoz-Hernandez, Alfredo Morales-Sánchez, Mario Moreno Moreno, and Gustavo M. Minquiz. 2023. "An Evaluation of the Tool Wear of Ceramic and Coated Carbide Inserts in Finishing Turning under the Influence of Age-Strengthening Gray Cast Iron." *Applied Sciences* 13(18):1–15. doi: 10.3390/app131810248.

Günen, Ali, Melik Çetin, and Tarkan Subaş. 2023. "Friction and Wear Behavior of High-Silicon Lamellar Graphite Cast Iron Truck Brake Discs." *Cukurova University Journal of the Faculty of Engineering* 38(4):1023–34. doi: 10.21605/cukurovaumfd.1410373.

Jabbari Behnam, M. M., P. Davami, and N. Varahram. 2010. "Effect of Cooling Rate on Microstructure and Mechanical Properties of Gray Cast Iron." *Materials Science and Engineering: A* 528(2):583–88. doi: 10.1016/j.msea.2010.09.087.

Ji, Lei, Xueshan Du, Yufu Sun, Tengzhong Zhu, and Junwei Feng. 2024. "Effect of Solidification Rate on Microstructure and Mechanical Characteristic of Gray Cast Iron." *International Journal of Metalcasting* 18(1):734–43. doi: 10.1007/s40962-023-01082-x.

Khaled, Amany, Mostafa Rostom A. Atia, and Tarek Moussa. 2014. "Grey Cast Iron Categorization Using Artificial Neural Network." *International Journal of Scientific & Engineering Research* 5(3):1–7.

Köse, Sami, Murat Çolak, and Ebru Emine Şüküroğlu. 2024. "Investigation of the Effects of Filling Speed, Casting Temperature and Metallurgical Quality on Fluidity of Lamellar Graphite Cast Iron at Different Section Thicknesses." *International Journal of Metalcasting* (August 2023). doi: 10.1007/s40962-024-01301-z.

Lathabai, S. 1998. "An SEM Study of Mild-to-Severe Wear Transition in Grey Cast Iron during Dry Sliding." *Scripta Materialia* 38(10):1557–62. doi: 10.1016/S1359-6462(98)00085-2.

Li, Qiangguo, Yanan Zhang, Yaning Zhang, Haibo Liu, Haonan Ren, Yamei Zhong, Xuefei Huang, and Weigang Huang. 2020. "Influence of Sn and Nb Additions on the Microstructure and Wear Characteristics of a Gray Cast Iron." *Applied Physics A:*

Materials Science and Processing 126:1–8. doi: 10.1007/s00339-020-03468-8.

Liu, Chen, Yuzhou Du, Xin Wang, Qi Zheng, Xinyu Zhu, Dongya Zhang, Dongjie Liu, Chao Yang, and Bailing Jiang. 2023. "Comparison of the Tribological Behavior of Quench-Tempered Ductile Iron and Austempered Ductile Iron with Similar Hardness." *Wear* 520–521(204668):1–10. doi: 10.1016/j.wear.2023.204668.

López, Marcos G., Juan M. Massone, and Roberto E. Boeri. 2020. "Examination of the Size and Morphology of Austenite Grains in Lamellar Graphite Cast Iron." *International Journal of Metalcasting* 14(3):689–95. doi: 10.1007/s40962-019-00393-2.

Meng, Shaopeng, Yanqing Yu, Lingfeng Wang, Liucheng Zhou, Zichuan Yu, Xinlie Pan, Rongping Wang, and Cenchao Xie. 2024. "Improving Tension Fatigue Performance of Gray Cast Iron by LSPwC-Induced Gradient Structure and Carbon Diffusion." *Journal of Materials Research and Technology* 31:3580–90. doi: 10.1016/j.jmrt.2024.07.086.

Munro, R. G. 2000. "Material Properties of Titanium Diboride." *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology* 105(5):709. doi: 10.6028/jres.105.057.

Razaq, Abdul, Peng Yu, Adnan Raza Khan, Xiao Yuan Ji, Ya Jun Yin, Jian Xin Zhou, and Taher A. Shehabeldeen. 2024. "Improvements in Wear and Corrosion Resistance of Ti-W-Alloyed Gray Cast Iron by Tailoring Its Microstructural Properties." *Materials* 17(10):1–19. doi: 10.3390/ma17102468.

Reis, Bárbara Cristina Mendanha, Anderson Júnior dos Santos, Natália Fernanda Santos Pereira, Denílson José do Carmo, Geraldo Lúcio de Faria, Marcelo Araújo Câmara, Paulo Eustáquio de Faria, and Alexandre Mendes Abrão. 2022. "Effect of Nb Addition on the Machinability of a Pearlitic Gray Cast Iron." *Journal of Materials Engineering and Performance* 31:5983–99. doi: 10.1007/s11665-022-06669-9.

Riahi, A. R., and A. T. Alpas. 2003. "Wear Map for Grey Cast Iron." *Wear* 255(1–6):401–9. doi: 10.1016/S0043-1648(03)00100-5.

Seikh, Asiful H., Amit Sarkar, Jitendra Kumar Singh, Sohail M. A. Kha. Mohammed, Nabeel Alharthi, and Manojit Ghosh. 2019. "Corrosion Characteristics of Copper-Added Austempered Gray Cast Iron (AGCI)." *Materials* 12(3):1–17. doi: 10.3390/ma12030503.

Şen, Nurettin Burak. 2018. "The Investigation of the Mechanical, Metallurgical and Economic Effect of Metallurgical Silicium Carburete and Ferro Silicon Additives on the Materials of Production of Lamel Graphite Cast Iron." Necmettin Erbakan University.

Subramanian, C., T. S. R. Ch Murthy, and A. K. Suri. 2007. "Synthesis and Consolidation of Titanium Diboride." *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials* 25(4):345–50. doi: 10.1016/j.ijrmhm.2006.09.003.

Wang, Guang hua, and Yan xiang Li. 2020. "Calculating the Effective Thermal Conductivity of Gray Cast Iron by Using an Interconnected Graphite Model." *China Foundry* 17:183–89. doi: 10.1007/s41230-020-0029-z.

Wang, Gui quan, Zhong li Liu, Yan xiang Li, and Xiang Chen. 2022. "Different Thermal Fatigue Behaviors between Gray Cast Iron and Vermicular Graphite Cast Iron." *China*

Foundry 19:245–52. doi: 10.1007/s41230-022-1204-1.

Wang, Z. B., N. R. Tao, S. Li, W. Wang, G. Liu, J. Lu, and K. Lu. 2003. "Effect of Surface Nanocrystallization on Friction and Wear Properties in Low Carbon Steel." *Materials Science and Engineering: A* 352(1–2):144–49. doi: 10.1016/S0921-5093(02)00870-5.

Xiao, Bo tao, Zi tian Fan, Wen ming Jiang, Jun huai Xiang, and Xue fang Yan. 2020. "Effect of Vibration Frequency on Primary Phase and Properties of Grey Cast Iron Fabricated by Lost Foam Casting." *China Foundry* 17(1):1–7. doi: 10.1007/s41230-019-9083-9.

Yakut, Rifat. 2023. "Investigation of Mechanical Properties of Gray Cast Irons Reinforced with Carbon Titanium Nitride (TiNC)." *Lubricants* 11(10):1–12. doi: 10.3390/lubricants11100454.

Yakut, Rifat, and Ömer Çiftçi. 2023. "Investigation of the Microstructure, Hardness, and Compressive Properties of TaC-Reinforced Lamellar Graphite Cast Irons." *European Mechanical Science* 7(2):56–62. doi: 10.26701/ems.1213039.

Yang, Xiao, Zhihui Zhang, Jintian Wang, and Luquan Ren. 2015. "Investigation of Nanomechanical Properties and Thermal Fatigue Resistance of Gray Cast Iron Processed by Laser Alloying." *Journal of Alloys and Compounds* 626:260–63. doi: 10.1016/j.jallcom.2014.11.169.

SULU ÇÖZELTİLERDEN METİLEN MAVİSİNİN ULTRASOUND IŞINIMLI VE GELENEKSEL ARITIM YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI İNCELENMESİNDE ORTAM PH DEĞİŞİMİNİN ETKİSİ: REAKTİF OKSİJEN TÜRLERİNİN ADSORBENT VERİMİNE ETKİSİ[1]

EFFECT OF AMBIENT pH CHANGE IN COMPARATIVE STUDY OF ULTRASOUND RADIATION AND CONVENTIONAL TREATMENT METHODS OF METHYLENE BLUE FROM AQUEOUS SOLUTIONS: EFFECT OF REACTIVE OXYGEN SPECIES ON ADSORBENT EFFICIENCY

Begüm DERELİ
Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi,
Yıldız Technical University, Chemistry and Metallurgy Fakulty
ORCID ID: 0000-0001-6999-5059

Öznur DÜLGER KUTLU
Dr. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi,
Dr., Yıldız Technical University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Chemistry
ORCID ID: 0000-0002-4387-1186

Yasemen KALPAKLI
Doç. Dr., Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, Kimyasal Teknolojiler
Doç. Dr., Yıldız Technical University, Chemistry and Metallurgy Fakulty,
Department of Chemical Engineering
ORCID ID: 0000-0002-1300-2289

ÖZET

Tekstil sektöründe yaygın olarak kullanılan metilen mavisinin (MM) düşük maliyetli bir adsorbent olarak değerlendirilebilen atık çay kullanılarak sulu çözeltilerden gideriminin ultrasound (US) ışınımlı ve geleneksel arıtım yöntemleri ile karşılaştırmalı olarak incelendiği bu çalışmanın hedefi reaktif oksijen türlerinin (ROS) çözelti pH değişimiyle adsorbent verimine etkisinin belirlenmesidir. Çay atığı, temel olarak selüloz, hemiselüloz, lignin, polifenoller, proteinler ve tanenlerden oluşan lignoselülozik bir biyokütledir. Adsorbent olarak kullanılan atık çay yapısındaki kromorf gruplar giderilinceye kadar kaynamış su ile yıkanmış ve mikrodalga kurutma tekniği ile yapısında nem içeriği kalmamasına dikkat edilerek kurutulmuştur. Çözelti pH'sına bağlı olarak fiziksel-kimyasal özellikleri değişen MM boyasının pH'ı kuvvetli asidik (pH=3), zayıf asidik (pH=5) ve kuvvetli alkali (pH=9) olarak değiştirilerek spektrofotomekrik olarak yapısı incelenmiştir. Çay atıkları XRD ve FTIR analizleri yardımıyla karakterize edilmiştir. US ışınımlı ve konvansiyonel adsorpsiyon proseslerinde çözelti pH'ı 3-10 arasındaki değerler için karşılaştırmalı olarak incelendiğinde

[1]Teşekkür: Yazarlar, bu çalışmaya maddi destek sağlayan Yıldız Teknik Üniversitesi BAPKA proje no: FCD-2024-6431'a teşekkür ederler.

pH 9'un her iki proses için en efektif değer olduğu ispatlanmıştır. US ışınımlı proseste adsorpsiyon verimi % 93,65 konvansiyonel adsorpsiyon prosesinde ise %88,97 olarak hesaplanmıştır. Q_m ise sırasıyla 15,66 mg/g ve 13,91 mg/g olarak elde edilmiştir. Bu veriler, ultrasound ışınlama yönteminde adsorpsiyonun yanı sıra, ultrason kavitasyonunun neden olduğu reaktif oksijen türlerinin (ROS) oluşumunun ve organik boyanın oksidasyon prosesleri yoluyla parçalandığını göstermektedir. pH 3'de süperoksit radikalinin, pH 5'de ve pH 9'da hidroksil radikalinin MB'nun oksidatif bozunma sürecinde oluşan diğer radikal türlerine göre daha etkili olduğu belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, giderilen MB miktarının başlangıç çözelti pH'ı ile kademeli olarak arttığını ve başlangıç pH'ı 9 olan çözeltide maksimum değere ulaştığı tespit edilmiştir. Bu bulgular, metilen mavisi gibi çevresel açıdan zararlı boyar maddelerin arıtımında, sürdürülebilir ve yenilikçi teknolojiler geliştirilmesi açısından önemli bir rehber sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Sonikasyon, Metilen mavisi, Konvansiyonel adsorpsiyon, lignoselülozik atık, ROS

ABSTRACT

The objective of this study was to investigate the removal of methylene blue (MM), a widely used dye in the textile industry, from aqueous solutions using waste tea as a cost-effective adsorbent. The study compared ultrasound (US) irradiated and conventional treatment methods and examined the effect of reactive oxygen species (ROS) on adsorbent efficiency with varying solution pH. Tea waste, a lignocellulosic biomass, primarily comprises cellulose, hemicellulose, lignin, polyphenols, proteins, and tannins. The waste tea utilized as an adsorbent was washed with boiled water to remove chromophore groups and dried using microwave techniques. The pH of MM dye, whose properties are pH-dependent, was adjusted to strongly acidic (pH=3), weakly acidic (pH=5), and strongly alkaline (pH=9) conditions, and its structure was analyzed spectrophotometrically. The tea wastes were characterized using XRD and FTIR analyses. A comparison of solution pH in the US irradiated and conventional adsorption processes for values between 3-10 showed that pH 9 was most effective for both processes. The adsorption efficiency was 93.65% in the US irradiated process and 88.97% in the conventional process. Qm values were 15.66 mg/g and 13.91 mg/g, respectively. These data suggest that ultrasound irradiation facilitated the formation of ROS due to cavitation and the degradation of organic dye through oxidation processes. Superoxide radical at pH 3, and hydroxyl radical at pH 5 and pH 9 were more effective than other radical species in the oxidative degradation of MB. The results showed that the amount of MB removed increased with initial solution pH, reaching the maximum at pH 9. These findings provide insights for developing sustainable technologies for treating environmentally harmful dyes like methylene blue.

Keywords: Sonication, Methylene blue, Conventional adsorption, lignocellulosic waste, ROS.

ANNOVARGUI: A USER-FRIENDLY INTERFACE FOR GENOME ANNOTATION

Harun KARCI
Assoc. Prof. Dr., Çukurova University, Faculty of Agriculture, Department of Horticulture
ORCID NO: 0000-0002-7219-7135

ABSTRACT

ANNOVAR (Annotate Variation) is a widely used tool for genome annotation, enabling researchers to functionally interpret genetic variants by mapping them to genomic features such as genes, conserved elements, regulatory regions, and population databases. Despite its powerful capabilities, ANNOVAR primarily operates through command-line inputs, which may present challenges for researchers unfamiliar with bioinformatics scripting. To address this limitation, a user friendly interface ANNOVARGUI has developed that streamlines ANNOVAR's functionalities, making variant annotation more accessible and efficient. Our interface eliminates the need for complex command-line operations by enabling users to process and interpret genomic data with minimal technical expertise. And, SNP, short InDel and structural variants using VCF files can be annotated and counted according to type of the exonic or variants. Key features of our platform include automated file handling, customizable annotation workflows. By simplifying the annotation interface, our interface significantly enhances usability, reduces analysis time, and broadens the accessibility of ANNOVAR to a wider range of researchers. This draft development represents a valuable advancement for genomic studies, particularly in clinical and population genetics, where rapid and accurate variant interpretation is crucial.

Keywords: Annovar, genome, annotation, variants

INTRODUCTION

ANNOVAR is a widely used bioinformatics tool for annotating genetic variants (e.g., SNPs, indels, and structural variants) detected from next-generation sequencing (NGS) data https://annovar.openbioinformatics.org/en/latest/ (Wang et al., 2010). It provides functional annotations by mapping variants to known genomic features, such as genes, regulatory regions, and disease-associated variants, helping researchers interpret the potential biological and clinical significance of genetic changes. It annotates variants with their potential effects (e.g., missense, nonsense, synonymous) on protein-coding genes. Also, it processes large-scale genomic data quickly, making it suitable for high-throughput studies.

By default, ANNOVAR does not directly accept GFF3 and FASTA files for building its gene annotation database. ANNOVAR is designed to work with its own gene annotation format, which is typically based on known databases like RefSeq, Ensembl, UCSC KnownGene, etc., and provided in pre-formatted files. However, if you have a custom genome or non-model

organism, you can convert GFF3 and FASTA files into ANNOVAR-compatible format using the following steps: This process requires manual conversion and scripting. It's not as straightforward as using built-in databases like hg19 or hg38. Errors in GFF3 formatting or genome mismatch can lead to incorrect annotations (Tan et al., 2015).

ANNOVAR cannot natively annotate variants using GFF3 and FASTA, but with some conversion steps, you can prepare a custom gene annotation database suitable for ANNOVAR. ANNOVAR uses mRNA-based annotations because it relies on transcript information to functionally annotate genetic variants. The core of ANNOVAR's annotation system is built on reference gene/transcript databases that describe gene structures, which are defined based on mRNA transcripts (Park and Park, 2022).

To date, a few paper were carried out over the comperative the accurancy of annotation tools in human genome project (McCarthy et al., 2014; Park and Park 2022). In these reports, they provides an in-depth analysis of how variant annotation tools differ, the potential issues caused by these differences, and the challenges in relying on transcript sets for accurate variant classification. The comparion of the ANNOVAR and VEP and SnpEff genome annotation tools were evaluated in Table 1.

In this report, the draft interface ANNOVARGUI was developed for Linux system in python version. This program firstly generates the mRNA transcript files to identify exonic statistics for variants. And, ANNOVARGUI will directly use the VCF file format to annotation without any pre-process like format conversion. Finaly, the results for exonic or variant statistics will be saved in txt format at the end of the analysis (https://github.com/pbreeder/ANNOVARGUI).

Table 1. The features of Annovar and other famous genome annotation tools

Features	**ANNOVAR**	**VEP (Variant Effect Predictor)**	**SnpEff**
Input data format	ANNOVAR input format with VCF	VCF	VCF
Annotation type	Gene, region, filter-based	Gene-centric, regulatory, comparative genomics	Gene-based
Database necessary	Extensive public and custom databases	Ensembl annotations	Prebuilt and custom genome annotations
Speed	Fast and lightweight	Slower with complex annotations	Very fast
Customization	Highly flexible	Moderate	Moderate
Clinical Use	Widely used in clinical variant interpretation	Growing usage in clinical pipelines	Less common in clinical settings
Database Flexibility	Requires manual download of annotation databases	VEP uses Ensembl	SnpEff uses the own databases
Ease of Use	Command-line based, may require scripting	VEP offer web interfaces	Very simple Command-line based

METHOD

The developed script was coordinated for SNP variants at this stage. The previously written script, based on bash, was converted to a Python script. These Python codes were then saved as an executable using “pyinstaller”. For genome annotation, the pistachio genome GFF3 and FASTA files were used to create mRNA data format with the gff3ToGenePred program (Kafkas et al., 2023). However, this program needs to be loaded into the system. Additionally, the Siirt cultivar VCF file, trimmed to 10k rows from Karcı et al. (2025), was also used for genome annotations.

RESULTS

Genome annotation using 10k rows pistachio VCF file was performed and results were shared in Table 2 and 3. The interface of the ANNOVARGUI of mRNA construction and annotation were designed in Turkish language in this stage (Figure 1). In the next days, this version will be modified on the python code for indels and structural variants with more features.

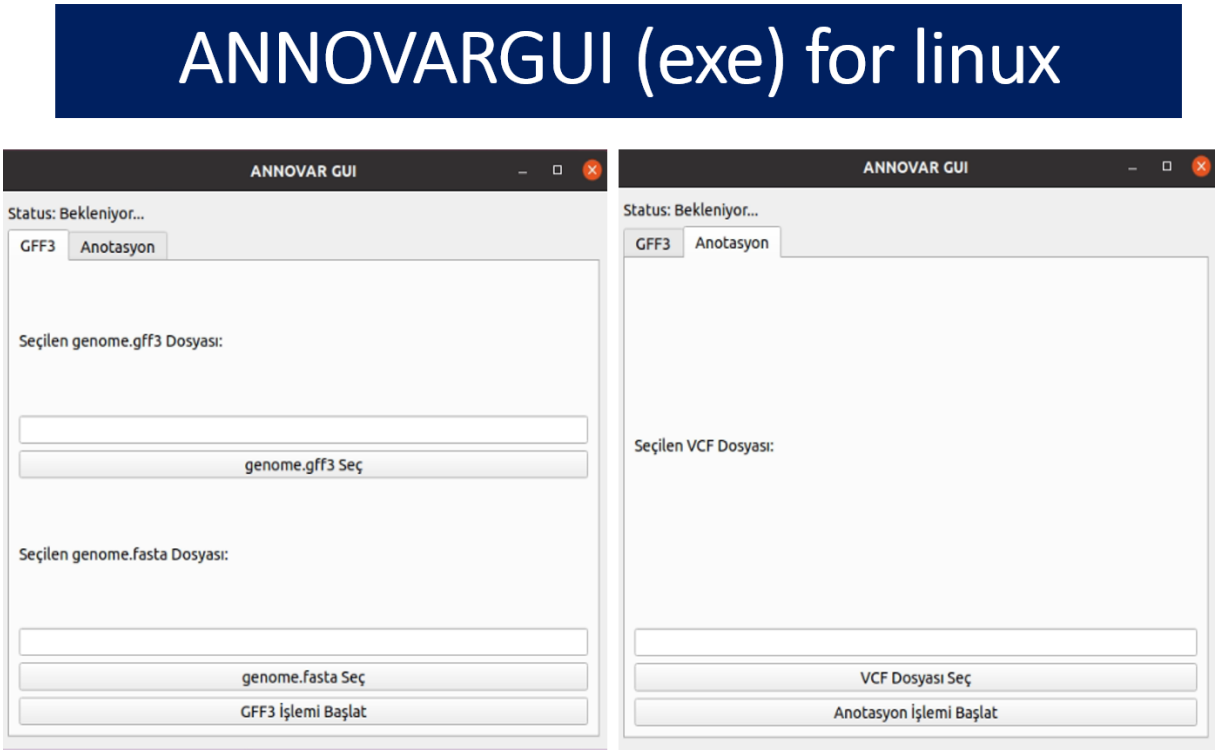


Figure 1. ANNOVARGUI an executable format for genome annotation.

Table 2. Exonic and all variants statistics

```
1    442 nonsynonymous
2      7 stopgain
3      3 stoploss
4    441 synonymous
```

```
1 10000 /media/data1/harun/qtlseq/exe_hk/GUI/siirt_deneme/PvF104_test_snp_final.vcf
2    1011 downstream
3     893 exonic
4    4127 intergenic
5    1920 intronic
6       4 splicing
7     925 upstream
8     123 upstream;downstream
9     139 UTR3
10    129 UTR5
```

CONCLUSION

ANNOVAR is a powerful tool for annotating genetic variants, but its command-line interface limits accessibility for non-bioinformaticians. ANNOVARGUI was developed to overcome these barriers. The rapid advancement of next-generation sequencing technologies has made efficient variant annotation tools indispensable in genomic research. While ANNOVAR has established itself as a powerful command-line tool for this purpose, its technical complexity has limited accessibility for many researchers. To address this challenge, we developed ANNOVARGUI, interface that simplifies and enhances the ANNOVAR workflow while maintaining its robust analytical capabilities. Prior to ANNOVARGUI, researchers faced several significant challenges when using ANNOVAR. The manual processes involved in database management - including downloading, updating, and configuring multiple annotation databases - were not only time-consuming but also introduced potential sources of error. The development of ANNOVARGUI represents an important step in democratizing genomic analysis tools. By removing technical barriers while preserving analytical rigor, it enables broader participation in genomic research and accelerates the translation of sequencing data into biological insights. Future development will focus on expanding integration with other bioinformatics tools.

REFERENCES

Kafkas, S., Ma, X., Zhang, X., Topçu, H., Navajas-Pérez, R., Wai, C. M., ... & Ming, R. (2023). Pistachio genomes provide insights into nut tree domestication and ZW sex chromosome evolution. Plant Communications, 4(3).

McCarthy, D. J., Humburg, P., Kanapin, A., Rivas, M. A., Gaulton, K., WGS500 Consortium, ... & Donnelly, P. (2014). Choice of transcripts and software has a large effect on variant annotation. Genome medicine, 6, 1-16.

Park, K. J., & Park, J. H. (2022). Variations in nomenclature of clinical variants between annotation tools. Laboratory Medicine, 53(3), 242-245.

Tan, T. Z., Yang, H., Ye, J., Low, J., Choolani, M., Tan, D. S. P., ... & Huang, R. Y. J. (2015). CSIOVDB: a microarray gene expression database of epithelial ovarian cancer subtype. Oncotarget, 6(41), 43843.

Wang, K., Li, M., & Hakonarson, H. (2010). ANNOVAR: functional annotation of genetic variants from high-throughput sequencing data. Nucleic acids research, 38(16), e164-e164.

DİŞLİ SİSTEMLERİNDE ÇELİK MALZEMELERİN EŞLENİK ÇALIŞMA PERFORMANSININ ARTIRILMASINA YÖNELİK ÇEŞİTLİ KAPLAMA YÖNTEMLERİNİN BELİRLENMESİ VE PERFORMANS ANALİZİ

IDENTIFICATION AND PERFORMANCE ANALYSIS OF VARIOUS COATING METHODS TO ENHANCE THE MATING PERFORMANCE OF STEEL MATERIALS IN GEAR SYSTEMS

FEYZA HİLAL SAĞLAM

Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Makine Tasarım ve İmalat Pr. (YL)

Sakarya University, Institute of Science, Department of Mechanical Engineering, Program of Mechanical Design and Manufacturing (Master's)

ORCID ID: 0009-0001-2527-9357

ÖZET

Sonsuz dişli-vida sistemlerinde, dişli malzemesi olarak bronz kullanılmasına rağmen, yüksek maliyet ve tedarik sürelerindeki değişkenlik alternatif malzeme araştırmalarına yönlendirmektedir. Çelik malzeme, üstün mekanik dayanımı ve ekonomik avantajları nedeniyle dikkat çekmekte; ancak, çelik-çelik temasın yaratacağı yüksek sürtünme ve aşınma gibi performans sorunlarının giderilmesi için ileri yüzey kaplama tekniklerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışma, çelik dişlilerin aşınma direnci, sürtünme katsayısı ve genel dayanıklılık parametreleri üzerinde farklı yüzey kaplama tekniklerinin etkilerini deneysel olarak değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Sonsuz dişli-vida sistemlerinde farklı yüzey kaplama tekniklerinin etkilerini değerlendirerek performans, dayanıklılık ve verimliliği artırmayı hedeflemektedir. Araştırma kapsamında, ball on disk testi çerçevesinde, standart ölçülere uygun üretilmiş numuneler üzerinde 4 farklı kaplama yöntemi uygulanacak; her biri için 5 adet numune üretilerek disk formundaki çelik dişli malzemesi ile bilya formundaki vida malzemesi arasındaki temas incelenecektir. Hem kuru hem de yağlı ortam koşullarında gerçekleştirilen testler, kaplamaların performans farklılıklarını detaylı bir şekilde ortaya koyacaktır.

Test sonuçları, kesit SEM ve yüzey SEM görüntüleri ile desteklenecek; elde edilen veriler, her bir kaplama yönteminin avantajları ve sınırlamaları hakkında kapsamlı bilgiler sunacaktır. Bu bulgular doğrultusunda, çelik dişlilerde uygulanabilecek optimal yüzey kaplama işlemi belirlenecek, ekonomik ve operasyonel verimliliği artıracak parametreler optimize edilecektir.

Bu çalışma kapsamında elde edilen veriler, uygulanan kaplama tekniklerinin verimliliği konusunda önemli ipuçları sağlayacak olup, endüstriyel uygulamalara yönelik yenilikçi yaklaşımların geliştirilmesinde rehber niteliği taşımaktadır. Çalışmanın sonuçları, çelik dişli-

vida sistemlerinde malzeme seçimi ve yüzey kaplama stratejilerinin optimize edilmesi adına ileri düzeyde araştırmaların yapılmasını teşvik etmektedir. Bu bağlamda, araştırmanın sunduğu kapsamlı veriler, endüstriyel tasarım ve mühendislik uygulamalarında çelik malzemenin tercih edilmesi ve yüzey kaplama işlemlerinin optimize edilmesi hususunda önemli referanslar sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Sonsuz Dişli Malzemesi, Bronz, Yüzey Kaplama, Çelik Dişli

ABSTRACT

In worm gear systems, although bronze is traditionally used as the gear material, its high cost and fluctuations in supply times have directed research towards alternative materials. Steel, with its superior mechanical strength and economic advantages, emerges as a promising candidate; however, addressing performance issues such as high friction and wear inherent in steel-to-steel contact necessitates the development of advanced surface coating techniques.

This study aims to experimentally evaluate the effects of different surface coating techniques on wear resistance, friction coefficient, and overall durability parameters of steel gears. It aims to evaluate the effects of different surface coating techniques in worm gear-screw systems to enhance performance, durability, and efficiency. In the research, four different coating methods will be applied to samples produced according to standard dimensions using the ball-on-disk test. Five samples will be produced for each method, and the contact between the steel gear material in the form of a disk and the screw material in the form of a ball will be investigated. Tests conducted under both dry and lubricated conditions will provide a detailed assessment of the performance variations among the coatings.

Test results will be supported by cross-sectional SEM and surface SEM images, providing comprehensive insights into the advantages and limitations of each coating method. Based on these findings, the optimal surface coating process applicable to steel gears will be identified, and parameters enhancing economic and operational efficiency will be optimized.

The data obtained in this study will provide valuable insights into the effectiveness of the applied coating techniques and serve as a guide for the development of innovative approaches for industrial applications. The results of the study encourage further advanced research on optimizing material selection and surface coating strategies in steel gear-screw systems. In this context, the comprehensive data presented by the research will provide significant references for the selection of steel materials and the optimization of surface coating processes in industrial design and engineering applications.

Keywords: Worm Gear Material, Bronze, Surface Coating, Steel Gear.

POLİPROPİLEN MALZEMEYE UV KATKISI İLAVESİ İLE BOYA TUTUCULUĞUNUN İYİLEŞTİRİLMESİ

IMPROVEMENT OF PAINT ADHESION OF POLYPROPYLENE MATERIAL WITH INCORPORATION OF UV ADDITIVE

Demet MUTLU BALCI
Bursa Teknik Üniversitesi, Lisansustu Egitim Enstitusu, Polimer Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı
Bursa Technical University, Institute of Graduate Studies, Department of Polymer Material Engineering
ORCID ID: 0009-0008-1538-1017

Pınar TERZİOĞLU
Assoc.Prof.Dr., Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendsilik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Polimer Malzeme Mühendisliği Bölümü
Assoc.Prof.Dr., Bursa Technical University, Engineering and Natural Sciences Faculty, Department of Polymer Material Engineering
ORCID ID: 0000-0003-4114-7044

ÖZET

Polipropilen (PP), düşük maliyetli, hafif, iyi mekanik özelliklere sahip ve kolay işlenebilir bir termoplastik malzeme olarak otomotiv, kimya ve inşaat gibi endüstriler başta olmak üzere geniş bir kullanım alanına sahiptir. Ancak, düşük yüzey gerilimi nedeniyle, boya ve kaplama uygulamalarının polipropilen yüzeylerine tutunmasında bazı zorluklar ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmanın amacı, UV katkısı kullanarak polipropilenin yüzey geriliminin değiştirilmesi ile malzemenin boya tutuculuğunda meydana gelen değişimlerin değerlendirilmesidir. Deneysel çalışmalarda, belirli oranlarda (% 0-4) UV katkısı içeren polipropilen numuneleri enjeksiyon yöntemiyle üretilmiştir. Boya uygulaması öncesi yüzey hazırlık sürecinde tutunma astarı uygulanarak boyama işlemi gerçekleştirilmiştir. Ardından boya tutuculuk testleri gerçekleştirilmiştir. Yüzey enerjisi ölçümleri, boya kalınlığı tayini ve çapraz kesme (cross-cut) testleri ile yüzeyin modifikasyon sonrası boya ile etkileşimi detaylı olarak incelenmiştir. Sonuçlar, UV katkılarının polipropilenin yüzey gerilimini artırarak boya tutuculuğunu olumlu yönde etkilediğini göstermektedir. Özellikle % 4 UV katkılı numunelerde yüzey enerjisi ve boya yapışma performansı en yüksek seviyeye ulaşmıştır. Çalışmanın bulguları, UV katkısının oranına bağlı olarak polipropilen malzemelerin endüstriyel boyama sürecinde potansiyel iyileştirmeler sağlanabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Polipropilen, UV katkısı, yüzey gerilimi, boya tutuculuk, yüzey modifikasyonu.

ABSTRACT

Polypropylene (PP) is a low-cost, lightweight, mechanically strong, and easily processed thermoplastic material with a wide range of applications, particularly in industries such as automotive, chemicals, and construction. However, due to its low surface tension, there are challenges in achieving proper adhesion of paints and coatings to polypropylene surfaces. The aim of this study is to evaluate the changes in paint adhesion by modifying the surface tension of polypropylene using UV additives. In the experimental studies, polypropylene samples containing UV additives in specific ratios (%0-4) were produced by injection molding. During the surface preparation process before painting, a primer was applied, and then the painting process was carried out. Afterward, paint adhesion tests were performed. Surface energy measurements, paint thickness determination, and cross-cut tests were conducted to examine the interaction between the modified surface and the paint in detail. The results show that UV additives enhance the surface tension of polypropylene, positively affecting paint adhesion. Especially, the samples with 4% UV additive exhibited the highest surface energy and paint adhesion performance. The findings of the study suggest that, depending on the UV additive ratio, potential improvements in industrial painting processes for polypropylene materials can be achieved.

Keywords: Polypropylene, UV additive, surface tension, paint adhesion, surface modification

ALÜMİNYUM YAPILARIN TOPOLOJİK OPTİMİZASYONUNDA İSOGRİD TASARIMININ MEKANİK PERFORMANS ANALİZİ VE TEORİK KARŞILAŞTIRMASI

MECHANICAL PERFORMANCE ANALYSIS AND THEORETICAL COMPARISON OF ISOGRID DESIGN IN TOPOLOGICAL OPTIMIZATION OF ALUMINUM STRUCTURES

Mehmet Metehan TOPDEMİR
Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü
Kırıkkale University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Mechanical Engineering
ORCID ID: 0000-0003-0286-7604

Osman BİCAN
Prof. Dr., Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü
Prof. Dr., Kırıkkale University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Mechanical Engineering
ORCID ID: 0000-0003-2246-0780

ÖZET

Bu çalışmanın amacı; özellikle havacılık, otomotiv ve yapı mühendisliği gibi sektörlerde kullanılan metal parçaların tasarım optimizasyonunda isogrid yapılarının mukavemet değerini minimum düzeyde etkileyerek ağırlık tasarrufu sağlamaktır. 4 mm çeper kalınlığına sahip isogrid yapının düz alüminyum plaka ile deneysel ve teorik kıyaslaması gerçekleştirilmiştir. Mekanik performans, sonlu elemanlar analizi (FEA) ve teorik hesaplamalar ile değerlendirilmiş, isogrid yapının tasarım avantajları incelenmiştir. Mesh optimizasyonu sonucu en uygun mesh boyutu belirlenmiş ve yapısal analizlerde toplam deformasyon, eşdeğer gerilme, eşdeğer elastik birim şekil değiştirme ve şekil değiştirme enerjisi değerlendirilmiştir. Sonuçlar, isogrid yapının deformasyonu, gerilme seviyesi, elastik gerinim ve kayma gerilmesini arttırdığını ancak kütlede meydana gelen azalmanın bu dezavantajları tolere edilebilir kıldığı görülmektedir.

Isogrid yapının düz plakaya kıyasla daha hafif bir yapı sunduğu belirlenmiştir. Elde edilen bulgular, isogrid yapının mukavemetini neredeyse korurken önemli ölçüde ağırlık optimizasyonu sağladığını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Isogrid, Topolojik Optimizasyon, Mukavemet, Ağırlık Optimizasyonu

ABSTRACT

The aim of this study is to achieve weight reduction by minimally affecting the strength values of metal components through the use of isogrid structures in design optimization,

particularly in sectors such as aerospace, automotive, and structural engineering. An isogrid structure with a wall thickness of 4 mm was experimentally and theoretically compared to a flat aluminum plate. Mechanical performance was evaluated using finite element analysis (FEA) and theoretical calculations, and the design advantages of the isogrid structure were examined. An optimal mesh size was determined through mesh optimization, and total deformation, equivalent stress, equivalent elastic strain, and strain energy were assessed in structural analyses. Results showed that the isogrid structure increased deformation, stress levels, elastic strain, and shear stress; however, the reduction in mass made these disadvantages tolerable. It was determined that the isogrid structure offers a lighter construction compared to the flat plate. Findings indicate that the isogrid structure provides significant weight optimization while nearly preserving structural strength.

Keywords: Isogrid, Topology Optimization, Strength, Weight Optimization.

1. GİRİŞ

Mühendislikte yapısal optimizasyon, ağırlık azaltımı sağlarken mekanik performansı korumak veya iyileştirmek amacıyla sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. İsogrid yapılar, özellikle havacılık, otomotiv ve inşaat sektörlerinde hafiflik ve mukavemet avantajları nedeniyle tercih edilen bir tasarım yaklaşımıdır. İzogrid yapılar, plakanın yüzeyinde üçgen şekillerin kısmen oyulmasıyla oluşan kaburga özelliklerine sahip bir güçlendirme yapısıdır (Procedia Manufacturing). Bu tür tasarımlar, geleneksel düz plakalara kıyasla daha düşük kütleyle benzer veya daha yüksek dayanım sağlayabilir, böylece yakıt verimliliği, yük taşıma kapasitesi ve maliyet etkinliği açısından önemli avantajlar sunar.

Özellikle havacılık ve uzay alanında yaygın olarak kullanılan isogridler, yakıt tankları, füze gövdeleri ve uçak gövdeleri gibi uygulamalarda kullanılır (Di Pompeo et al., 2021). Bu yapıların mekanik dayanımı, çoklu yük yolları sayesinde yapısal hasarlara karşı yüksek tolerans göstermelerini sağlamaktadır. Yapılan çalışmalar, isogrid plakaların bazı nervürleri kırıldıktan sonra bile basma yüklerine karşı dayanımını sürdürebildiğini ortaya koymaktadır (Kim, 2000). Bu özellik, isogrid yapıları yüksek mukavemet gerektiren ancak aynı zamanda hafifliğin kritik olduğu havacılık, otomotiv ve inşaat sektörleri için ideal bir seçenek haline getirmektedir. İsogrid tasarımlar, hafif ancak yüksek mukavemet gerektiren optik bileşenlerde sıklıkla tercih edilmektedir[1]. Öyle ki, taşıma endüstrisinde yakıt tüketimi ve emisyonların azaltılması hafif parçalar üretilerek sağlanabilir ve kompozit malzemeden üretilmiş isogrid yapılar bu hedef için optimal bir çözüm sunmaktadır. (Structural Integrity Procedia)

Topolojik optimizasyon, belirli yükleme ve sınır koşullarına göre bir yapıdan fazla malzemenin çıkarılarak ağırlığın veya aerodinamik yapı gibi bazı kısıtlamaların optimize edilmesi sürecidir. Günümüzde havacılık ve savunma sanayii, ağırlık azaltımına büyük önem verdiğinden, isogrid tasarımları uçak gövdeleri, roket parçaları ve uydu yapıları gibi kritik

bileşenlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Otomotiv endüstrisinde ise, araç şasi ve gövde panellerinde isogrid yapıların kullanımı, yakıt tüketimini düşürerek karbon emisyonlarını azaltmaya katkı sağlamaktadır. İnşaat sektöründe ise, betonarme ve çelik konstrüksiyon tasarımlarında isogrid desenlerinin kullanılmasıyla daha az malzeme tüketerek yüksek taşıma kapasitesine sahip yapılar üretmek mümkündür.

Bu çalışmada, 4 mm çeper kalınlığına sahip isogrid yapıda plakanın mekanik performansı, düz alüminyum plaka ile karşılaştırılmıştır. Mekanik analizler, Sonlu Elemanlar Analizi (FEA) yöntemiyle gerçekleştirilmiş ve deneysel verilerle desteklenmiştir. Sayısal analizlerde mesh optimizasyonu uygulanarak en uygun eleman boyutu belirlenmiştir. Farklı mesh yoğunluklarıyla gerçekleştirilen analizlerde, sırasıyla 5 mm, 2.5 mm, 1.5 mm, 0.8 mm mesh boyutları belirlenerek analizler yapılmış ve 1.5 mm mesh boyutundan daha küçük eleman boyutlarının hesaplama süresini önemli ölçüde arttırdığı, sonuçlardaki iyileşmenin ise ihmal edilebilir düzeyde kaldığı gözlemlenmiştir. Bu nedenle, teorik değerlere %98 doğrulukla ulaşan ve hesaplama süresi ile hassasiyet arasında en iyi dengeyi sağlayan 1.5 mm mesh boyutu optimum olarak belirlenmiştir.

Total deformasyon, eşdeğer gerilme, elastik birim şekil değiştirme ve şekil değiştirme enerjisi gibi parametreler incelenerek isogrid tasarımının performansı değerlendirilmiştir. Bu çalışmanın amacı, isogrid yapıların mukavemet özelliklerini minimum düzeyde etkileyerek ağırlık optimizasyonu sağlamak ve geleneksel düz plakalarla karşılaştırmalı olarak mühendislik açısından avantajlarını ortaya koymaktır. Elde edilen bulgular, isogrid yapıların belirli yükleme senaryoları altında hafiflik ve dayanıklılığı bir arada sağlayabildiğini göstermektedir.

Isogrid plakalar, çoklu yük yolları sayesinde yapısal hasarlara karşı yüksek tolerans göstermektedir. Yapılan çalışmalar, bu yapıların bazı nervürleri kırıldıktan sonra bile basma yüklerine karşı dayanımını sürdürebildiğini göstermektedir[2].

2. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

2.1. Çalışmanın Kapsamı ve Kullanılan Malzemeler

Genetik algoritmalar kullanılarak yapılan optimizasyon çalışmaları, isogrid yapıların en düşük kütle ile en yüksek mekanik performansa ulaşmasını mümkün kılmaktadır[3]. Çalışmanın temel amacı, isogrid yapılarının ağırlık avantajı sağlarken mukavemet açısından nasıl bir performans gösterdiğini belirlemek ve bu yapıların mühendislik uygulamalarında optimizasyon potansiyelini ortaya koymaktır.

Deneysel ve sayısal analizlerde kullanılan isogrid yapı ve düz plakada, Al 6061-T6 alüminyum alaşım malzeme özellikleri baz alınmıştır. Bu malzemenin tercih edilme **nedeni,** yüksek mukavemet/ağırlık oranına sahip olmasıdır. Bu özelliği sayesinde havacılık, savunma ve otomotiv gibi alanlarda, hafiflik ve yüksek mekanik performans gerektiren uygulamalar için uygun bir malzeme niteliği taşımaktadır. Ayrıca T6 ısıl işlemi uygulanmış olan AL6061

alaşımı, yüksek yorulma dayanımı, iyi şekillendirilebilirlik ve üstün işlenebilirlik gibi mekanik özellikleri bünyesinde barındırmaktadır.

Bunun yanı sıra AL6061 T6'nın yüksek korozyon direncine sahip olması, özellikle dış ortam koşullarına ve çeşitli çevresel etkilere maruz kalan mühendislik uygulamalarında uzun ömürlü ve güvenilir performans sağlamaktadır. Çelik ve titanyum gibi alternatif malzemelerle karşılaştırıldığında, AL6061 T6'nın maliyet etkinliği, kolay erişilebilirliği ve talaşlı imalat gibi yöntemlerle yüksek hassasiyetle üretilebilmesi, ekonomik ve teknik açıdan önemli avantajlar sunmaktadır. Ayrıca isogrid geometrisinin karmaşık yapısı göz önünde bulundurulduğunda, bu alaşımın şekillendirilme kolaylığı da tercih edilmesindeki diğer önemli kriterlerden biridir. Al 6061-T6'nın mekanik özellikleri aşağıda verilmiştir:

Yoğunluk	2.7 g/cm³
Elastisite Modülü (E)	68.9 GPa
Poisson Oranı (ν)	0.33
Akma Dayanımı	276 MPa
Maksimum Çekme Dayanımı:	310 MPa

2.2. Isogrid Geometrilerinin Farklı Çeşitleri

Isogrid yapılar, ağırlık azaltımı ve yapısal rijitliği artırma amacıyla farklı geometrik düzenlerde tasarlanmaktadır. Bu yapılar, kullanılan hücre şekline bağlı olarak farklı mekanik özellikler sergilemektedir. Genel olarak eşkenar üçgen, altıgen ve dikdörtgen düzenleri yaygın olarak tercih edilen isogrid geometri çeşitleridir.

2.2.1. Eşkenar Üçgen Deseni (Triangular Isogrid)

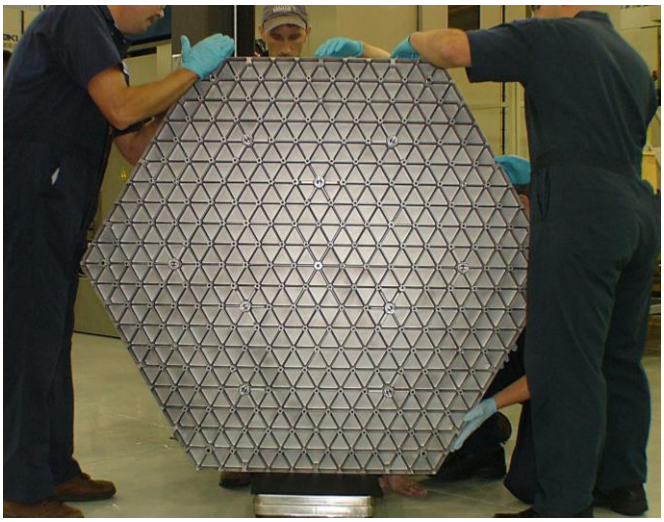
Isogrid yapılar içerisinde en yaygın kullanılan geometri, eşkenar üçgen düzenine sahip tasarımdır. Üçgensel hücreler, yüksek rijitlik sağlarken yük dağılımını optimize eder, bu sayede uzay ve havacılık mühendisliği ile hafif mühendislik yapılarında tercih edilmektedir. Roket gövdeleri ve havacılık panelleri gibi yapılar, bu tasarımın yaygın olarak kullanıldığı uygulamalardır.

2.2.2. Altıgen Desen (Hexagonal Isogrid)

Altıgen yapıya sahip isogrid sistemleri, bal peteği yapısına benzer şekilde mükemmel rijitlik ve ağırlık oranı sunmaktadır. Yük taşıma kapasitesi oldukça yüksek olmasına rağmen, üretim süreci üçgensel yapı tasarımlarına kıyasla daha karmaşıktır. Uydu panelleri ve havacılık yapıları, altıgen isogrid sistemlerinin kullanıldığı başlıca mühendislik uygulamalarıdır.

Ancak Altıgen hücreli izogrid yapılar, üçgen hücreli yapılara göre daha düşük burkulma direncine sahiptir[4]. Üçgensel hücreler bireysel olarak rijit bir yapı sağlasa da, altıgen

hücrelerden oluşan sistemler yükü daha geniş bir alana yayarak gerilme dağılımını daha homojen ve dengeli hale getirir.



James Webb Uzay Teleskobu'nun isogrid yapıda ana ayna bileşeni

2.3. Rib Genişliği ve Kalınlığı

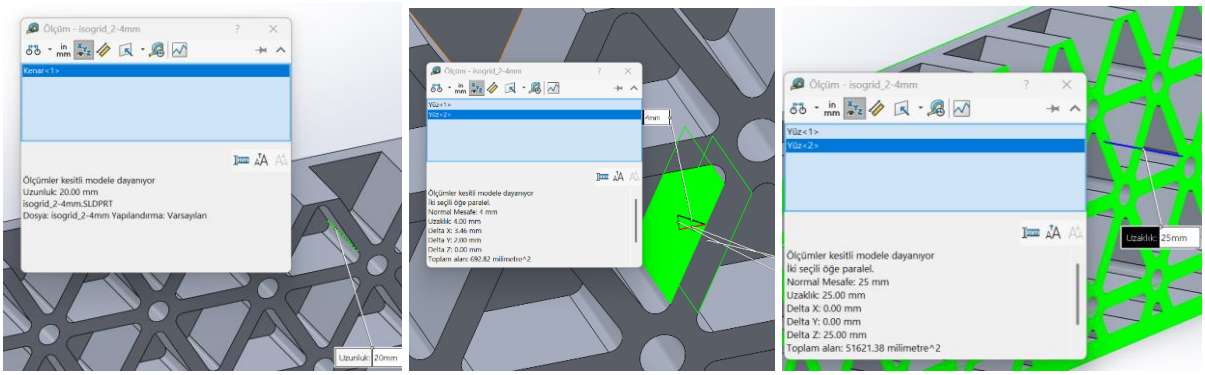
Isogrid yapılarında Rib genişliği ve Rib kalınlığı, yapının rijitlik ve yük taşıma kapasitesini belirleyen temel parametrelerdir. Rib elemanlarının kesit alanı (A), aşağıdaki formül ile ifade edilmektedir:

$$A = b * d$$

Burada,

- A = Kesit alanı (mm²),
- b = Rib genişliği (mm),
- d = Rib kalınlığı (mm).

Rib genişliği ve kalınlığı, isogrid panelinin mukavemetini artırarak burkulmaya karşı direncini iyileştirmekte ve yapının genel rijitlik özelliklerini optimize etmektedir. Bu parametrelerin uygun şekilde belirlenmesi, malzeme kullanımını optimize ederken aynı zamanda yapının hafifliğini ve dayanıklılığını dengelemede kritik rol oynamaktadır[5].



Rib genişliği Rib kalınlığı Rib yüksekliği

2.4. Numerik Analiz Yöntemi (FEA - Sonlu Elemanlar Analizi)

Çalışmada mekanik performans karşılaştırmaları için Sonlu Elemanlar Analizi (FEA) yöntemi uygulanmıştır. Analizler, ANSYS Workbench 2024 R2 yazılımında bulunan Static Structural modülü kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Sayısal analizlerde, isogrid yapının ve düz plakanın farklı yükleme koşulları altındaki mekanik tepkileri değerlendirilmiştir. Yapısal analizlerde statik yükleme senaryoları uygulanmış olup aşağıdaki parametreler incelenmiştir:

- Toplam deformasyon (Total Deformation, mm)
  Toplam deformasyonun incelenmesi, yapının uygulanan yükler altındaki şekil değiştirme davranışını değerlendirmek ve kullanım amacına uygun rijitliği sağlamak açısından önem taşımaktadır.
- Eşdeğer gerilme (Equivalent Von-Mises Stress, MPa)
  Eşdeğer gerilme, malzemenin akma dayanımı ile karşılaştırılarak yapının güvenlik katsayısının belirlenmesi ve yapısal bütünlüğün değerlendirilmesi amacıyla incelenmektedir.
- Eşdeğer elastik birim şekil değiştirme (Equivalent Elastic Strain, mm/mm)
  Eşdeğer elastik birim şekil değiştirme analizi, yapının elastik sınırlar içindeki davranışının ve elastik şekil değiştirme kapasitesinin belirlenmesi için gereklidir.
- Şekil değiştirme enerjisi (Strain Energy, mJ)
  Şekil değiştirme enerjisi, yapının yükleme koşulları altında depoladığı elastik enerji miktarını belirlemek amacıyla incelenmektedir. FEA analizlerinde doğru, güvenilir ve stabil sonuçlar elde etmek amacıyla mesh optimizasyonu yapılmıştır.

2.4.1. Mesh Optimizasyonu ve Eleman Boyutu Seçimi

Mesh yoğunluğunun analiz sonuçlarının doğruluğu ve hesaplama süresi üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla, aynı yükleme koşulları (50000 N kuvvet) altında farklı mesh boyutları ile testler gerçekleştirilmiştir. Bu testlerde elde edilen analiz sonuçları, teorik olarak hesaplanan değerlere kıyasla değerlendirilmiş ve en uygun mesh boyutu, yakınsama analiziyle belirlenmiştir.

Gerçekleştirilen testlere ait mesh boyutları ve yakınsama sonuçları Tablo 1'de verilmiştir.

Mesh Boyutu (mm)	Sonuç (mm)	Değer (%)
5	0,00203168	12
2,5	0,0019047	5
1,5	0,00185028	1,8
0,8	0,00183214	1,4

Tablo 1. 50000 N Kuvvet Etkisi Altında Farklı Mesh Boyutları İçin Yakınsama Analizi

Tablo 1'deki değerlerden görüldüğü üzere, mesh boyutu küçüldükçe analiz sonuçları teorik değerlere yaklaşmakta ve hata oranları düşmektedir. 0,8 mm mesh boyutunda hata oranı en düşük seviyeye (%1,4) inse de, hesaplama süresi önemli ölçüde artmıştır. Buna karşın, 1,5 mm mesh boyutu ile hata oranı (%1,8) kabul edilebilir düzeyde tutulmuş, hesaplama süresi ve doğruluk arasında optimum denge sağlanmıştır. Bu nedenle, çalışmada analizlerin yürütülmesi için 1,5 mm mesh boyutu tercih edilmiştir.

1,5 mm mesh boyutu için analiz öncesi mesh özellikleri şu şekildedir:

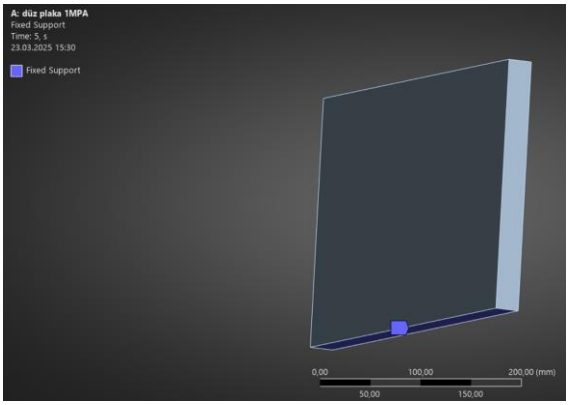
- Eleman Türü: Üçgen (Tetrahedral)
- Eleman Boyutu: 1,5 mm
- Toplam Eleman Sayısı: 1.200.000
- Sınır Koşullarına Duyarlılık: Orta-İnce Mesh Yoğunluğu

2.4.2. Sınır Koşulları ve Yükleme Senaryoları

FEA analizlerinde, gerçek mühendislik koşullarına uygun olarak yükleme ve sınır koşulları dikkatlice uygulanmıştır. Bu kapsamda, 50,000 N'luk basma kuvveti y ekseninde yapıya uygulanmıştır. Yükleme, yapının üst yüzeyine uniform olarak dağıtılarak, sistemin gerçekçi bir şekilde davranışını yansıtması hedeflenmiştir. Ayrıca, y ekseninde uygulanan kuvvetin tam altında kalan alt yüzey sabitlenmiş ve tüm hareket serbestlikleri kısıtlanarak yapının stabilitesi sağlanmıştır. Bu sınır koşulları ve yükleme senaryosu, yapının mekanik performansını değerlendirmek için optimize edilmiş bir analiz ortamı sunmuştur.

2.4.3. Statik Yükleme Koşulları

Yapının alt yüzeyi, tamamen sabitlenmiş (Fixed Support) olarak kabul edilmiştir. Üst yüzeye ise, düşey doğrultuda 50.000 N'luk bir basma kuvveti uygulanmıştır. Bu yükleme koşulu, yapının deformasyonunu gözlemleyebilmek amacıyla uygulanmıştır.





Fixed support Force

2.5. Teorik Hesaplamalar ve Karşılaştırma

Statik yükleme altında isogrid yapı ve düz plakanın teorik deformasyon hesaplamaları yapılmıştır. Analitik hesaplamalar ile FEA sonuçları kıyaslanmış ve hata oranları belirlenmiştir.

2.5.1. Isogrid Tasarımda Kenarlar Arası Açı (θ) Hesaplaması

Isogrid tasarımında altıgensel geometriye sahip geometri üzerine yoğunlaşılmıştır. Isogrid hücrelerinin kenarlar arası açısı θ, yapının yük taşıma kapasitesi, burkulma davranışı ve üretim sürecinde önemli bir rol oynar. Bir isogrid destekleyici paterni, birbirlerine göre 60 derecelik açılarla yönlendirilmiş, eşit aralıklı üç destekleyici setinden oluşur (International Journal of Non-Linear Mechanics). Bu açı, üçgensel hücrelerin düzenine bağlı olarak hesaplanabilir. Hafifliği korurken yapısal rijitliği artırmak amacıyla eşkenar üçgenlerden oluşan bir düzen kullanır[6].

Isogrid yapısında, kenarlar arası açı şu formülle belirlenir[7]:

$$\theta = \frac{360^\circ}{N_s}$$

Burada:

- θ = Isogrid hücresindeki kenarlar arası açı (derece),

- N_e = Her hücrede bulunan kenar sayısı.

2.5.2. Isogrid Hücre Kenar Uzunluğu (L) Hesaplaması

Isogrid yapılarda hücre kenar uzunluğu (L), yapının rijitlik ve yük taşıma kapasitesini optimize etmek için belirlenen kritik bir geometrik parametredir. Üçgen birim hücrenin uzunluğu 'a' ile gösterilir ve birim hücrenin yüksekliği, hücre uzunluğuna bağlı olarak tanımlanır[8]. Eşit kenar uzunluğuna sahip hücrelerin oluşturulabilmesi için aşağıdaki formül kullanılır:

$$L = \left(\frac{A}{N}\right)^{\frac{1}{2}}$$

- Açıklama:
  - A toplam isogrid panel alanı,
  - N üçgen hücre sayısıdır.

Eşit kenar uzunluğuna sahip isogrid hücrelerin boyutunu belirlemek için kullanılır [9].

Bu formül, panelin toplam alanını üçgensel hücrelerin sayısına bölerek tekil bir hücrenin kenar uzunluğunu belirler. Böylece, yapının genel geometri optimizasyonu yapılırken rijitlik, malzeme kullanımı ve ağırlık dengesi sağlanmış olur. Özellikle havacılık ve uzay mühendisliği uygulamalarında, optimum hücre kenar uzunluğunun seçimi burkulma dayanımı, titreşim davranışı ve üretim süreçleri açısından büyük önem taşımaktadır.

2.5.3. Isogrid Merkez Daire Çapı Hesaplaması (Dc)

Isogrid sistemlerde merkez daire çapı (Dc), hücrelerin geometrik düzenlenmesi sonucunda ortaya çıkan merkezi açıklığın çapını belirlemek için kullanılan bir parametredir[10]. Bu çap, hücrelerin yerleşimi ve kenarlar arası açı ile doğrudan ilişkili olup, yapının mekanik performansına ve üretim sürecine etki eden kritik bir faktördür [11].

Merkez daire çapı, aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır:

$$D_c = 2L \cdot \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)$$

- Açıklama:
- Dc = Merkez dairenin çapı (mm),
- L = Hücre kenar uzunluğu (mm),
- θ = Kenarlar arası açı (°).

2.5.4. Kütle Hesaplaması

Kütle hesaplaması, malzemenin geometrik boyutları, yoğunluğu ve hacmi dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir.

Hacim hesaplama formülü aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

$$V = W \times H \times t$$

Değerler:

- Genişlik (W) = 400 mm
- Yükseklik (H) = 250 mm
- Kalınlık (t) = 25 mm

$$V = 400 \times 250 \times 25 = 2{,}500{,}000\ mm^3 = 0.0025\ m^3$$

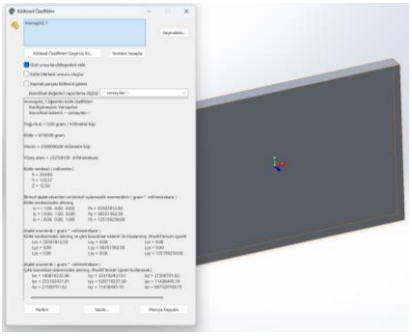
Düz plaka malzemesi olarak kullanılan Al 6061-T6'nın yoğunluğu literatürden alınarak şu şekilde belirlenmiştir:

$$\rho = 2{,}700\ (\frac{kg}{m^3})$$

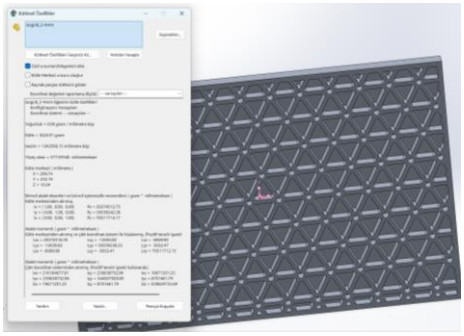
Düz plakanın kütlesi, hacim ve yoğunluk kullanılarak hesaplanır. Kütle (m) formülü şu şekildedir:

$$m = V \times \rho = 0.0025 \times 2700 = 6.75\ kg$$

Hesaplamalar sonucunda, 400 mm x 250 mm x 25 mm boyutlarındaki Al 6061-T6 düz plakanın kütlesi 6.75 kg olarak bulunmuştur. Ayrıca, SolidWorks programı kullanılarak tasarlanan katı model üzerinde yapılan kütle analizi sonucunda da aynı değerin elde edilmesi, teorik hesaplamaların doğruluğunu desteklemektedir. Aşağıda aynı ebatlarda düz plaka ve isogrid malzemenin kütle değeri gösterilmektedir. Isogrid yapının, 6750 gram olan kütleyi 3624.91 gram kütleye indirgenmesinin yanında, yapılan analizler sonucunda yapısal performans üzerinde nasıl bir değişime sebep olduğu ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir.



Düz plaka ağırlık bilgisi



İsogrid plaka Ağırlık Bilgisi

2.5.5. Gerilme (σ) Hesaplama Yöntemi

Malzeme mekaniğinde gerilme (σ), bir malzemeye uygulanan kuvvetin birim alana düşen miktarını ifade eden kritik bir mekanik parametredir. Isogrid yapılar gibi optimize edilmiş geometrilere sahip malzemelerde gerilme hesaplamaları, yapının mekanik davranışını anlamak ve yük taşıma kapasitesini değerlendirmek açısından büyük önem taşır[12].

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

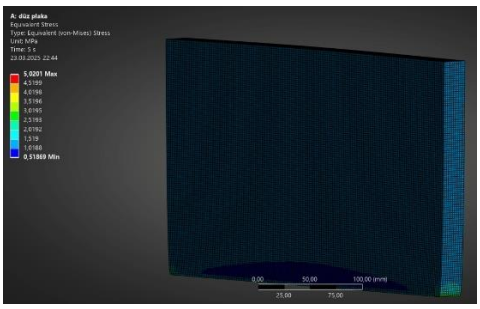
Bu denklemde:

- σ = Normal gerilme (MPa),
- F = Uygulanan kuvvet (N),
- A = Kesit alanı (mm^2).

- F=50000 N
- A=10000 mm²

$$\sigma = \frac{50000}{10000} = 5\,MPa$$

Teorik olarak hesaplanan gerilme değeri 5 MPa olarak bulunmuştur. ANSYS analizinde elde edilen gerilme dağılımı sonuçları aşağıdaki görselde sunulmuştur.



Gerilme Analiz sonucu

Görselden de görüldüğü üzere analiz sonucu elde edilen maksimum gerilme değeri ile teorik olarak hesaplanan gerilme değeri arasında bir kıyaslama yapılarak analiz doğruluğunun %99,59 olduğu belirlenmiştir.

Yüzdesel Hata $= \frac{5{,}0201 - 5}{5} \times 100 = 0{,}402\%$

2.5.6. Toplam Deformasyon (Total Deformation) Hesaplaması

Yapının tek eksenli çekme veya basma yükü altında toplam deformasyonu Hooke Yasası ve mühendislik gerilme-şekil değiştirme ilişkisine dayanarak aşağıdaki gibi ifade edilmiştir:

$$u = \frac{F \cdot L}{A \cdot E}$$

Burada,

$u = Toplam\ deformasyon\ (mm)$

$F = Uygulanan\ kuvvet\ (N)$

$L = Yapının\ uzunluğu\ (mm)$

$A = Kesit\ alanı\ (mm^2)$

$E = Elastisite\ modülü\ (MPa)$

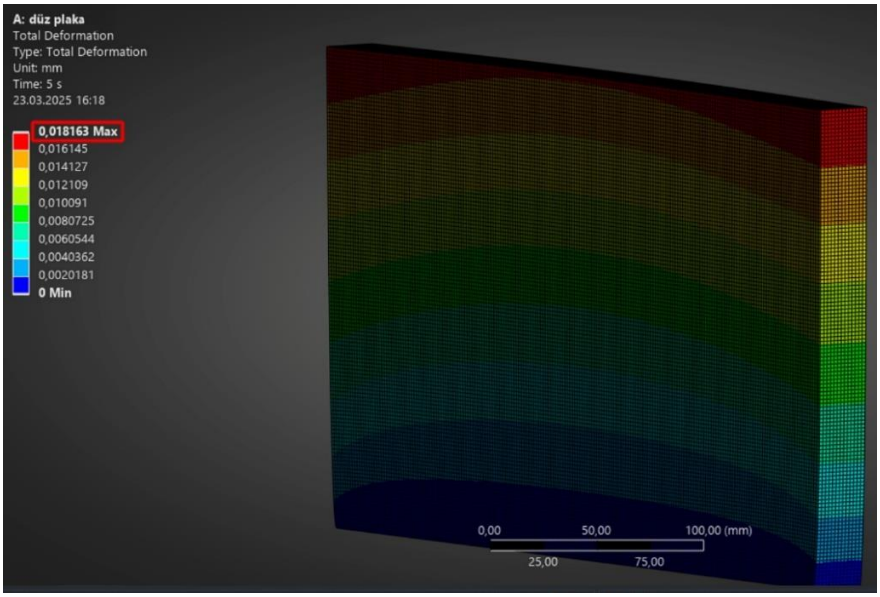
Yerine koyulan değerler:

- $F = 50000\ N$ (Kuvvet)
- $L = 250\ mm$ (Plaka yüksekliği)
- $W = 400\ mm$ (Plaka genişliği)
- $t = 25\ mm$ (Plaka kalınlığı)
- $E = 68.9 \times 10^3\ MPa$ (Elastisite modülü)

Kesit alanı hesaplaması: $A = W \times t = 400 \times 25 = 10000\, mm^2$

Toplam Deformasyon: $u = \frac{50000 * 250}{10000 * 68900}$ $u = \frac{12500000}{689000000}$ $u = 0.01814\ mm$

Teorik olarak hesaplanan toplam deformasyon değeri 0,01814 mm olarak bulunmuştur. ANSYS analizinde elde edilen toplam deformasyon dağılımı sonuçları aşağıdaki görselde sunulmuştur.



Toplam deformasyon analiz sonucu

Görselden de görüldüğü üzere analiz sonucu elde edilen maksimum gerilme değeri ile teorik olarak hesaplanan gerilme değeri arasında bir kıyaslama yapılarak analiz doğruluğunun %99,89 olduğu belirlenmiştir.

Yüzdesel Hata $= \frac{0,01816 - 0,01814}{0,01814} \times 100 = 0,110\%$

2.5.7. Von-Mises Elastik Şekil Değiştirme Hesaplaması

Tek eksenli yükleme (germe veya basma) altında malzemenin elastik sınırları içinde meydana gelen şekil değişimi, uygulanan gerilme ve malzemenin elastisite modülü ile orantılıdır [8]. Elastik bölgedeki birim şekil değiştirme aşağıdaki denklem ile ifade edilir:

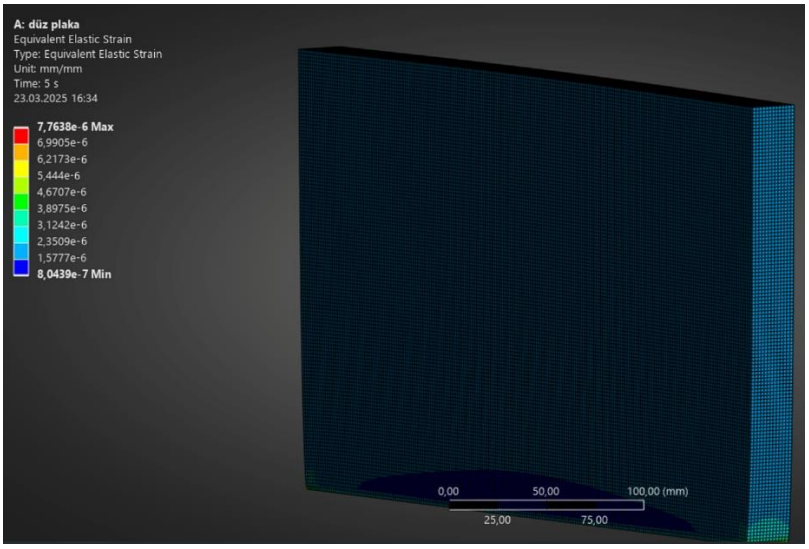
$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E}$$

- ε = Elastik birim şekil değiştirme (mm/mm),
- σ = Uygulanan eksenel gerilme (MPa),
- E = Elastisite modülü (MPa).
- F=50000 N (Kuvvet),
- W=400 mm (Plaka genişliği),
- t=25 mm (Plaka kalınlığı),
- A=10000mm^2

- $E = 68.9 * 10^3$ MPa (Elastisite modülü). σ=0.5 MPa,

ε≈7.26×10−6 mm/mm

Teorik olarak hesaplanan Von-Mises elastik şekil değiştirme değeri 7,26×10⁻⁶ mm/mm olarak bulunmuştur. ANSYS analizinde elde edilen elastik şekil değiştirme dağılımı sonuçları aşağıdaki görselde sunulmuştur.



Von-Mises elastik şekil değiştirme analiz sonucu

Yüzdesel Hata $= \frac{7{,}7638\times10^{-6} - 7{,}26\times10^{-6}}{7{,}26\times10^{-6}} \times 100 = 6{,}94\%$

Görselden de görüldüğü üzere analiz sonucu elde edilen maksimum elastik şekil değiştirme değeri (7,7638×10⁻⁶ mm/mm) ile teorik olarak hesaplanan elastik şekil değiştirme değeri arasında bir kıyaslama yapılarak analiz doğruluğu %93,06 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç teorik hesaplama ile ANSYS analizi arasında yüksek düzeyde bir uyum olduğunu göstermektedir.

2.5.8. Şekil Değiştirme Enerjisi (Strain Energy, mJ)

Şekil değiştirme enerjisi (U), bir cisim üzerine uygulanan dış yüklerin, cismin içinde oluşturduğu elastik deformasyon nedeniyle depolanan enerji miktarıdır [1]. Bu enerji, malzeme tamamen elastik kaldığı sürece geri kazanılabilir.

$$U = \frac{1}{2}\sigma\varepsilon V$$

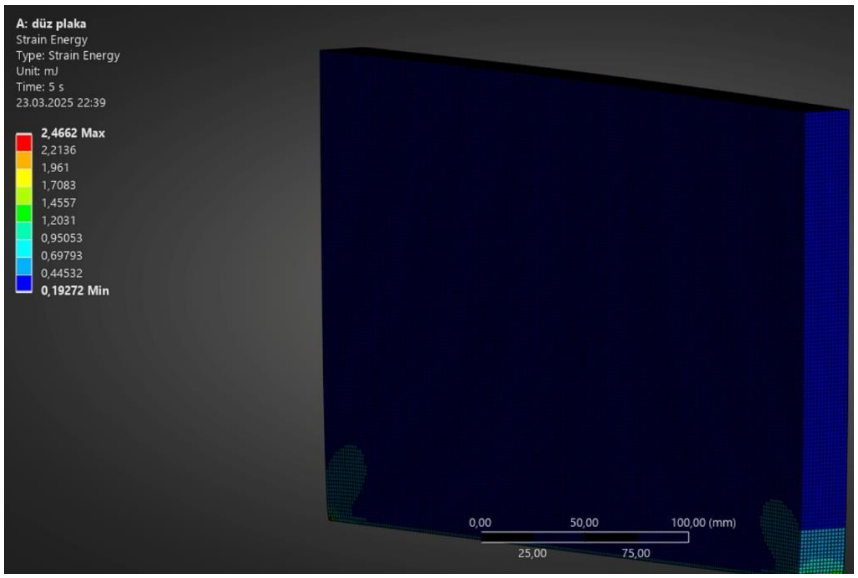
Burada,

- U = Toplam şekil değiştirme enerjisi (mJ), $\varepsilon_e \approx -7.26 \times 10^{(-6)}$ mm/mm
- σ = Uygulanan normal gerilme (MPa), σ=0.5 MPa
- ε = Birim şekil değiştirme (mm/mm),
- V = Cismin hacmi (mm³).

V = 1,342,560.15 mm³

$$U \approx -2.44 \text{ mJ}$$

Teorik olarak hesaplanan şekil değiştirme enerjisi değeri -2,44 mJ olarak bulunmuştur. Negatif işaret, enerjinin sistem içinde depolandığını ve yük kaldırıldığında geri kazanılabileceğini göstermektedir. ANSYS analizinde elde edilen şekil değiştirme enerjisi dağılımı sonuçları aşağıdaki görselde sunulmuştur.



Şekil Değiştirme Enerjisi analiz sonucu

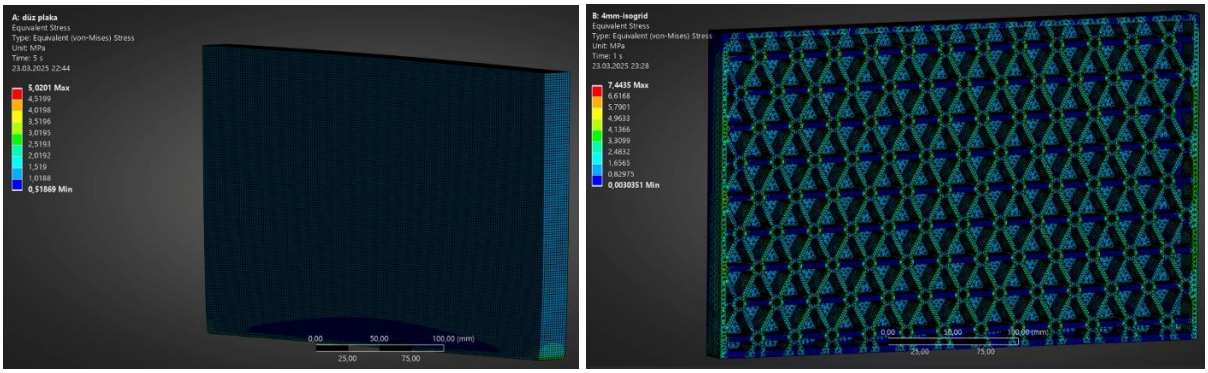
$$\text{Yüzdesel Hata} = \frac{-2{,}46-(-2{,}44)}{-2{,}44} \times 100 = 0{,}820\%$$

Görselden de görüldüğü üzere analiz sonucu elde edilen maksimum şekil değiştirme enerjisi değeri (-2,46 mJ) ile teorik olarak hesaplanan şekil değiştirme enerjisi değeri arasında bir kıyaslama yapılarak analiz doğruluğu %99,180 olarak hesaplanmıştır.

2.6. Düz Plaka İle İsogrid Plakanın Analiz Sonuçlarının Kıyaslanması

Bu bölümde düz plaka ve isogrid yapıdaki plaka için gerçekleştirilen analiz sonuçları; Gerilme (σ), Toplam Deformasyon, Von-Mises Elastik Şekil Değiştirme ve Şekil Değiştirme Enerjisi parametreleri açısından karşılaştırılmıştır.

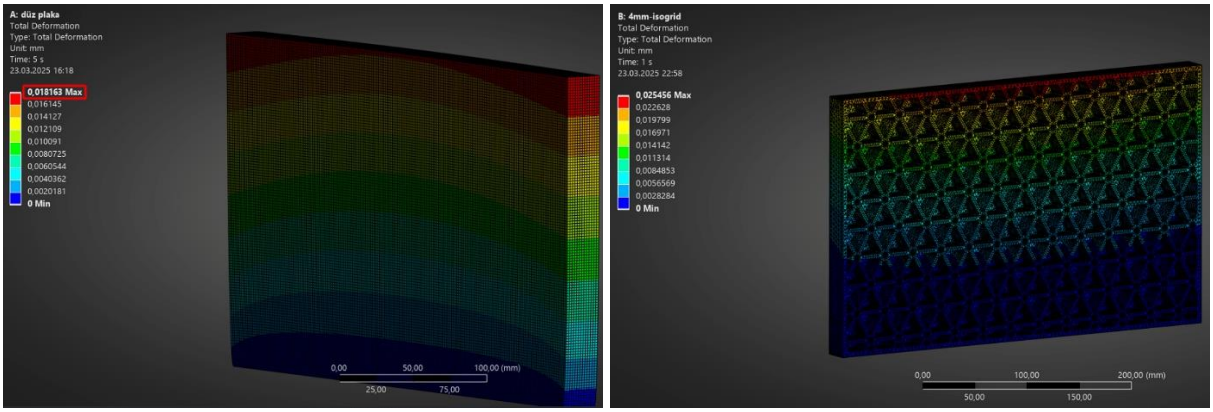
2.6.1. Gerilme (σ) Analizi



Düz Plaka $5{,}02\ MPa$ İsogrid Plaka $7{,}44\ MPa$

Isogrid plakada elde edilen maksimum gerilme (7,44 MPa), düz plakaya kıyasla (5,02 MPa) daha yüksek çıkmış olup, geometrik yapı farklılığının gerilme dağılımını etkilediği görülmektedir.

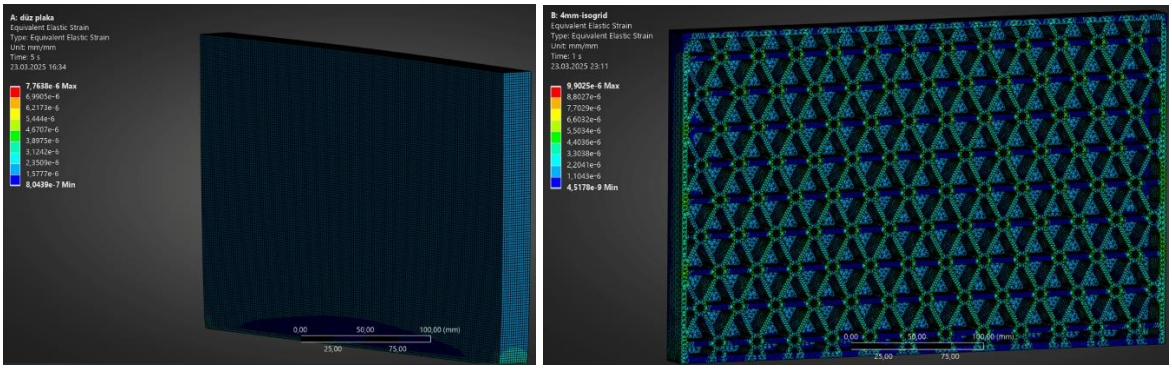
2.6.2. Toplam Deformasyon Analizi



Düz Plaka $0{,}01816\ mm$ İsogrid Plaka $0{,}02545\ mm$

Isogrid plakada meydana gelen maksimum toplam deformasyon (0,02545 mm), düz plakaya (0,01816 mm) göre daha yüksek bulunmuş olup, bu durum isogrid geometrisinin daha esnek bir davranış sergilediğini göstermektedir.

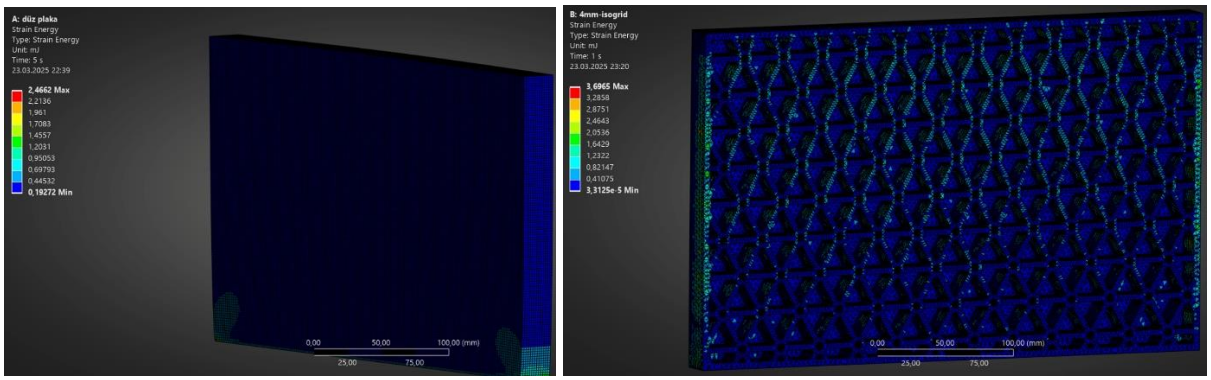
2.6.3. Von-Mises Elastik Şekil Değiştirme Analizi



Düz Plaka $7{,}763 * 10^{-6} mm/mm$ İsogrid Plaka $9{,}902 * 10^{-6} mm/mm$

Isogrid plakada oluşan maksimum Von-Mises elastik şekil değiştirme ($9{,}902 * 10^{-6}$mm/mm), düz plakaya (7,7638×10⁻⁶ mm/mm) kıyasla daha yüksek olup, isogrid tasarımın daha yüksek elastik şekil değiştirmeye yol açtığını ortaya koymaktadır.

2.6.4. Şekil Değiştirme Enerjisi Analizi



Düz Plaka **-2,46 mJ** İsogrid Plaka **-3,6965 mJ**

Isogrid plakanın şekil değiştirme enerjisi değeri (-3,6965 mJ), düz plakaya göre (-2,46 mJ) daha yüksektir. Bu durum, isogrid plakanın optimize edilmiş geometrisi sayesinde yükü daha etkin bir biçimde dağıtmasıyla ilişkilidir. Yapı içerisinde bulunan üçgen nervürler, yükü geniş bir alana yayarak daha fazla enerji absorbe edilmesine olanak tanır.

3. SONUÇ

Bu çalışmada, Al 6061-T6 malzemesinden üretilmiş olan düz plaka ve geometrik optimizasyonla tasarlanan isogrid plakanın mekanik performansları, tek eksenli yükleme şartı altında (50.000 N) ANSYS programı kullanılarak incelenmiştir.Analizler sonucunda elde edilen gerilme, toplam deformasyon, Von-Mises elastik şekil değiştirme ve şekil değiştirme enerjisi değerleri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Elde edilen sonuçların karşılaştırılması aşağıdaki tabloda sunulmuştur:

PARAMETRE	DÜZ PLAKA	IZOGRİD PLAKA	DEĞİŞİM (%)
Gerilme (σ) [MPa]	5,02	7,44	+48,21
Toplam Deformasyon [mm]	0,01816	0,02545	+40,14
Von-Mises Elastik Şekil Değiştirme mm/mm	7,763×10⁻⁶	9,902×10⁻⁶	+27,56
Şekil Değiştirme Enerjisi [mJ]	2,46	3,6965	+50,26
Kütle [g]	6750	3624,91	-46,30

Isogrid plakada oluşan maksimum gerilmenin düz plakaya göre daha yüksek olması, nervürlü geometrinin yükleri belirli bölgelerde yoğunlaştırdığını göstermektedir. Bu durum, tasarım

aşamasında yüksek gerilme bölgelerinin dikkatli biçimde analiz edilmesini ve nervür geometrisinin optimize edilmesini gerekli kılar.

Isogrid plakanın deformasyon değerinin düz plakadan daha yüksek olması, isogrid tasarımının yük altında daha esnek bir davranış sergilediğini kesin olarak ortaya koymaktadır. Bu sonuç, isogrid yapıların titreşim ve darbe dayanımı gerektiren uygulamalarda avantajlı olduğunu ve elastik deformasyonun tolere edildiği alanlarda tercih edilmesini desteklemektedir.

Von-Mises elastik şekil değiştirme değerlerinin isogrid plakada daha yüksek bulunması, bu geometrinin elastik limitleri içinde daha büyük şekil değiştirme kapasitesine sahip olduğunu net bir şekilde göstermektedir. Bu durum, isogrid yapıların yük altında daha fazla elastik enerji depoladığını ortaya koymaktadır.

Isogrid yapının daha yüksek şekil değiştirme enerjisine sahip olması, yükü daha geniş alana dağıtmak suretiyle enerji absorpsiyonunu artırdığını açıkça göstermektedir. Bu sonuç, isogrid yapının özellikle dinamik yüklerin etkin yönetiminde mühendislik açısından önemli bir çözüm olduğunu doğrulamaktadır.

Isogrid plakanın kütlesindeki belirgin azalma, ağırlık tasarrufu sağlamak açısından kesin bir avantajdır ve özellikle ağırlığın kritik öneme sahip olduğu durumlarda tercih edilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu durum, isogrid tasarımının, yapısal bütünlük ve mekanik performansı neredeyse muhafaza ederken malzeme kullanımını etkin biçimde azaltabildiğini göstermektedir.

Sonuç olarak gerçekleştirilen analizler, isogrid geometrisinin düz plakaya kıyasla yük altında daha yüksek enerji absorpsiyonuna, elastik şekil değiştirme kapasitesine ve belirgin bir ağırlık avantajına sahip olduğunu açıkça ortaya koymaktadır. Ancak, isogrid yapıdaki nervürlerin oluşturduğu gerilme yoğunlaşmaları dikkatlice analiz edilmeli ve tasarım aşamasında optimize edilmelidir. Bu bulgular ışığında isogrid yapılar, özellikle dinamik yüklerin etkin yönetiminin gerektiği havacılık, savunma ve otomotiv gibi sektörlerde, hafiflik ve yüksek mekanik performans sağlamak için ideal bir mühendislik çözümü olarak değerlendirilmektedir.

4. KAYNAKÇA

[1] S. B. Conkey, C. Lee, S. Chaykovsky, D. Content, A. Morell, and J. Budinoff, “Optimum Design of a Lightweight Mirror Using Aluminum Foam or Honeycomb Sandwich Construction-A Case Study for the GLAS Telescope.” [Online]. Available: http://proceedings.spiedigitallibrary.org/

[2] T. D. Kim, “Fabrication and testing of thin composite isogrid sti□ened panel.” [Online]. Available: www.elsevier.com/locate/compstruc

[3] A. Boudjemai’, M. H. Bouanane2, L. Merad3, and A. M. S. Mohammed’, “Small Satellite Structural Optimisation Using Genetic Algorithm Approach.”

[4] G. Totaro, "Local buckling modelling of isogrid and anisogrid lattice cylindrical shells with hexagonal cells," *Compos Struct*, vol. 95, pp. 403–410, Jan. 2013, doi: 10.1016/j.compstruct.2012.07.011.

[5] H. Il Kim, C. H. Sim, J. S. Park, K. Lee, J. T. Yoo, and Y. H. Yoon, "Numerical Derivation of Buckling Knockdown Factors for Isogrid-Stiffened Cylinders with Various Shell Thickness Ratios," *International Journal of Aerospace Engineering*, vol. 2020, 2020, doi: 10.1155/2020/9851984.

[6] M. B. Francisco, J. L. J. Pereira, G. A. Oliver, F. H. S. da Silva, S. S. da Cunha, and G. F. Gomes, "Multiobjective design optimization of CFRP isogrid tubes using sunflower optimization based on metamodel," *Comput Struct*, vol. 249, Jun. 2021, doi: 10.1016/j.compstruc.2021.106508.

[7] McDonnell, "ISOGRID DESIGN HANDBOOK," 1973.

[8] D. Bushnell, "Global optimum design of externally pressurized isogrid stiiened cylindrical shells with added T-rings," 2002.

[9] C. Bellini, V. Di Cocco, F. Iacoviello, and L. Sorrentino, "Performance index of isogrid structures: robotic filament winding carbon fiber reinforced polymer vs. titanium alloy," *Materials and Manufacturing Processes*, vol. 37, no. 5, pp. 559–567, 2022, doi: 10.1080/10426914.2021.1926489.

[10] W. Akl, A. El-Sabbagh, and A. Baz, "Optimization of the static and dynamic characteristics of plates with isogrid stiffeners," *Finite Elements in Analysis and Design*, vol. 44, no. 8, pp. 513–523, May 2008, doi: 10.1016/j.finel.2008.01.015.

[11] C. Bellini, V. Di Cocco, F. Iacoviello, and L. Sorrentino, "Performance index of isogrid structures: robotic filament winding carbon fiber reinforced polymer vs. titanium alloy," *Materials and Manufacturing Processes*, vol. 37, no. 5, pp. 559–567, 2022, doi: 10.1080/10426914.2021.1926489.

[12] H. Ory, H.-G. Reimerdes, T. Schmid, A. Rittweger, and J. Gã Omez Garcã, "Imperfection sensitivity of an orthotropic spherical shell under external pressure," 2002.

TANDEM YERLEŞTİRİLMİŞ RÜZGAR TÜRBİNLERİNDE GÜÇ ÜRETİMİ OPTİMİZASYONU: TAGUCHİ DENEY TASARIMI YAKLAŞIMI

POWER GENERATION OPTIMIZATION IN TANDEM-ARRANGED WIND TURBINES: A TAGUCHI DESIGN APPROACH

Oğuzhan CARUS
Yüksek Lisans Öğrencisi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Bilecik, Türkiye
ORCID NO: 0009-0001-0431-8097

Gülcan ÖZEL EROL
Dr. Öğr. Üyesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bilecik, Türkiye
ORCID NO: 0000-0003-2054-6767

Musa ÖZKAN
Doç. Dr., Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bilecik, Türkiye
ORCID NO: 0000-0002-1322-3276

ÖZET

Bu çalışma, bir rüzgar çiftliği formasyonunda elde edilen toplam gücün, türbinlerin yerleşimleri ve sapma açılarıyla etkileşimini incelemek için Taguchi tabanlı bir optimizasyon modeli önermektedir. Kurgulanan rüzgar çiftliğinde rüzgar hızı, Türkiye'nin Bandırma bölgesinde, 100 m yükseklikteki ortalama rüzgar verilerine dayanarak tek yönlü ve sabit olarak ele alınmıştır. Numerik analizler için açık kaynak kodlu ve aero-servo-elastik çözücü OpenFAST'in rüzgar çiftliği modülü Fast.FARM kullanılarak, tandem yerleşimli üç türbinden oluşan bir rüzgar çiftliği modeli oluşturulmuştur. Bu modelde, türbin yerleşim parametrelerinin toplam güç üretimine etkisi incelenmiştir. Bu bağlamda, optimizasyon kapsamında yerleşim parametreleri, a) aşağı akış türbinlerinin birbirleri arasındaki mesafenin rotor çapı cinsinden 3D, 4D ve 5D olarak belirlenmesi ve b) her türbin için sapma açılarının -20° ile 20° arasında, 5°'lik artışlarla değiştirilmesi şeklinde ele alınmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Tasarlanan çiftlik düzeninde, yukarı akış yönündeki ilk türbininin konumu sabittir. Aşağı akış türbinlerinin konumuna dayalı olarak tanımlanan mesafe değişkeni 2 faktörde 3 seviyeye, sapma açısı değişimi ise tüm türbinlere uygulandığından 3 faktörde 9 seviyeye sahiptir. Tüm parametreler dikkate alınarak bu parametrelerin etkileşimini içeren ve 81 farklı senaryodan oluşan bir Deney Tasarımı (DOE) oluşturulmuştur. En küçük kareler yöntemi kullanılarak analiz sonuçlarına bir matematiksel model uyarlanmıştır. Bu modelin tahminine dayanarak en iyi dizilim konfigürasyonu analiz edildiğinde, türbinlerin toplamda

7.55 MW güç ürettiği ve bu değerin deney tasarımındaki diğer sonuçlardan daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: OpenFAST, Rüzgar Çiftliği, Taguchi Metodu, Yerleşim Optimizasyonu

ABSTRACT

This study proposes a Taguchi-based optimization model to investigate the interaction between turbine layout and yaw angles on the total power performance of a wind farm. The designed wind farm assumes a unidirectional and constant wind speed, based on the average wind data at a height of 100 meters in the Bandırma region of Türkiye. For numerical analysis, a wind farm model with a tandem arrangement of three turbines was created using Fast.FARM which is a wind farm module in the open-source aero-servo-elastic solver OpenFAST. The impact of turbine placement parameters on total power generation was examined within this model. As a part of the optimization, placement parameters included a) the downstream turbines' spacing, defined as 3D, 4D, and 5D in terms of rotor diameter, and b) the yaw angles of each turbine, which varied between -20° and 20° in increments of 5°. In the designed farm layout, the position of the upstream turbine was fixed. The spacing parameter, defined based on the downstream turbines' positions, was considered at three levels across two factors, while yaw angle variations were applied to all turbines, resulting in three factors at nine levels. Considering all parameters, a Design of Experiments (DOE) approach consisting of 81 different cases was conducted to examine their interaction. A mathematical model was then formulated based on the analysis results using the least squares method. According to the model's predictions, the optimal sequencing configuration resulted in a total power output of 7.55 MW, surpassing all other results obtained in the experimental design.

Keywords: OpenFAST, Wind Farm, Taguchi Method, Layout Optimization

GİRİŞ

Rüzgar türbinleri, rüzgarın kinetik enerjisini mekanik enerjiye dönüştürmek için kullanılır. Genellikle atmosferik sınır tabaka içerisinde, daimi akış koşulları altında çalışan aerodinamik sistemlerdir. Bu bağlamda türbin geometrik yapısının ve karakteristik özelliklerinin aerodinamik etkileri göz önünde bulundurularak incelenmesi gerekmektedir (Stoevesandt vd., 2022). Herhangi bir cismin, bir akışkan ortam içerisindeki hareketi esnasında aerodinamik şekline bağlı olarak, akış yönünde bir art izi bölgesi oluşur (Akçadırcı, 2006). Bu durum, belirli bir lokasyonda sınırlandırılmış rüzgar türbini gruplarından oluşan rüzgar çiftlikleri üzerinde olumsuz bir etki yaratır. Aşağı akış (downstream) türbinleri, yukarı akış (upstream) türbinlerinin oluşturduğu art izine maruz kalır. Bu negatif etkinin başlıca nedenleri, serbest daimi akışa kıyasla art izi bölgesindeki rüzgar hızında düşüş gözlemlenmesi ve art izinde

oluşan ek türbülans (wake added turbulence) yapısıdır. Art izindeki hız düşüşü, yukarı akış türbin akışkanın sahip olduğu kinetik enerjiyi çekmesinden kaynaklanır. Türbülanslı yapı ise, yukarı akış türbininin aerodinamik şekli itibariyle akış alanında sebep olduğu kararsız girdapların, kısa bir süre içinde bozularak türbülans şiddetini arttırmasıdır. Ayrıca, serbest akış ile art izi bölgesi arasındaki hız farkı, kayma tabakası oluşumuna neden olur. Kayma tabakası bir ara bölge oluşturur ve bu bölgede hız gradyanı büyüktür. Yüksek hızlı serbest akıştan düşük hızlı art izine kinetik enerji transferi gerçekleşir ve bu art izindeki rüzgarı hızlandırır. Hızlanan art izi karışımı tetikler. Bu süreç türbülansın artmasına ve art izinin genişlemesine yol açar (Sanderse ve Benjamin, 2009; Neunaber vd., 2020). Rüzgardaki mevcut güç, rüzgar hızının küpü ile orantılı olduğundan hızdaki küçük bir artış/azalış, güç üretimini büyük ölçüde artırabilir/azaltabilir. Bu nedenle art izinin oluşumu, yayılması ve dağılması mekanizmalarındaki küçük iyileştirmeler, aşağı akıştaki türbinin güç üretimi üzerinde büyük bir etki yaratabilir. Bu sebeple türbin çiftliklerinde performansın arttırılması için optimizasyon çalışmalarına ihtiyaç duyulur. Türbinler arası mesafe ve türbin sapma açısı art izinin aşağı akış yönündeki türbinler ile olan etkileşimlerini belirleyerek rüzgar çiftliğinin genel performansını şekillendirir (Xiaolei vd., 2012).

Rüzgar türbinlerinde sapma açısı kontrolü ile yukarı akış türbininde oluşan art izi farklı doğrultulara yönlendirilebilir. Türbinlerin maksimum güç üretebilmeleri için rotor diskinin daimi akışa dik olması gerekir. Türbine bir sapma açısı verilmesi, türbinin maruz kalacağı rüzgar hızının türbine dik doğrultudaki bileşenini azaltacağı için güç üretimi azalacaktır. Buna karşın, yukarı akış türbininden kaynaklanan art izinin farklı doğrultularda yayılımı, aşağı akış türbininin maruz kaldığı olumsuz art izi etkilerini azaltarak, aşağı akış türbinleri için güç üretimini arttırabilir. Türbinler, aerodinamik olarak rüzgar yönüne dik yerleştirildikleri duruma göre tasarlandıkları için bu durumda rüzgara karşı oluşturdukları blokaj minimumdur. Sapma açısındaki değişim ile blokaj etkileri artar ve aerodinamik kuvvetlerdeki değişimler sebebiyle türbin üzerindeki yapısal yükler olumsuz etkilenir (Damiani vd., 2018). Bu sebeple sapma açılarındaki değişimin genellikle $\pm 30°$ ile sınırlı kalması istenir. Dolayısıyla, toplam güç üretimini artırmak ve yapısal yükleri en aza indirmek için sapma açısının optimize edilmesi gerekir (Nash vd., 2021).

Bastankhaha vd. (2019) tarafından yapılan deneysel çalışmada, üç kanatlı küçük ölçekli türbinler kullanılarak rüzgar tünelinde tandem sıralanmış beş farklı türbin için sapma açılarının $0°$ ile $35°$ arasında değiştirildiği senaryolar değerlendirilmiştir. Bu senaryolar kapsamında, sapma açısındaki artışın sonucunda %0.5 ila %17 arasında güç artışı sağladığı gözlemlenmiştir. Bir başka çalışmada Lei vd. (2020) sapma açısı optimizasyonunun etkinliğinin, türbinler arasındaki mesafeye bağlı olduğunu belirlemiş ve türbinler arası eksenel mesafenin daha kısa olması durumunda sapma açısı ayarlamalarının daha fazla güç kazancı sağlayabileceğini saptamıştır. Zong vd. (2021) sapma açısının güç üretimi üzerindeki etkilerini, sabit sıra aralığı ile yerleştirilmiş türbinlerde incelemiş ve aktif sapma kontrolünün

güç artışını %15.7'ye kadar çıkarabileceğini, ayrıca yıllık enerji üretiminde %1.8'lik bir iyileşme sağlayabileceğini ortaya koymuştur.

Türbinler arasındaki mesafenin belirlenmesinde, enerji üretimi ile arazi kullanımı dengesi etkilidir. Kısa mesafeler güç kaybına, uzun mesafeler ise yerleşim alanının verimsiz kullanımına yol açar. Akış yönündeki mesafe değişimleri, yanlamasına (spanwise) değişimlere kıyasla güç üretimini daha fazla etkiler (Stevens vd., 2016). Belirli rüzgar yönlerinde hizalanmış türbinlerin oluşturduğu kara temelli rüzgar çiftliği dizilimlerinde, aşağı akış yönündeki türbin mesafesi rotor çapı cinsinden 3D-5D aralığında olduğunda art izi etkisini yitirirken (Yang vd., 2012), yan rüzgar (crosswind) mesafesi daha kısa tutulabilmektedir (Sun vd., 2019). Hoxha vd. (2022) yerleşim optimizasyonu kapsamında, Priştine yakınlarındaki dağlık bir alan olan Koznica'da 3.4 MW gücündeki türbinler için uzunluk olarak 2D, 3D ve 5D uzunluk mesafelerini temel alarak çalışmalar gerçekleştirmiş ve optimum güç üretiminin sağlanması için en az 3D mesafenin gerekli olduğunu vurgulamıştır. Choi vd. (2013) tarafından yapılan çalışmada, 2 MW'lık türbinleri içeren bir rüzgar çiftliğinde, türbinler arası mesafe 3D olduğunda aşağı akış türbininin güç çıkışı yukarı akış türbininin yalnızca %35'i kadar olduğu saptanmıştır. Ayrıca mesafenin 5D'ye çıkarılmasıyla güç çıkış oranının %60'a ulaştığı, bunun sonucunda önemli bir iyileşme sağlandığı ve art izi etkilerinde azalma gözlemlendiği belirlenmiştir. Bartl vd. (2012) 3D ve 5D'lik iki farklı mesafeyi incelemiş ve 5D'lik mesafede güç çıkışında nispeten daha fazla iyileşme sağlandığı, ayrıca art izi bölgesinde türbülans yoğunluğunun azaldığını tespit etmiştir. Ali vd. (2018), farklı türbin aralıklarının güç üretimi üzerindeki etkisini incelemek amacıyla bir rüzgar tüneli deneyi gerçekleştirmiştir. Deney sonuçlarına göre, türbin mesafesi akış yönünde 6D'den 3D'ye düşürüldüğünde güç üretiminde %33, 3D'den 1.5D'ye düşürüldüğünde ise %22 oranında azalma gözlemlenmiştir.

Bu çalışmada, Bandırma bölgesi için 100 m yükseklikteki ortalama rüzgar hızı referans alındı. Bu rüzgar değeri simülasyon içerisinde sabit rüzgar hızı olarak tanımlanarak tandem sıralanmış üç türbin arasındaki mesafe değişimi ve sapma açılarındaki değişimin toplam güç çıktısı üzerindeki etkisi incelendi. Sistemin çoklu konfigürasyonları için bir deney tasarımı uygulandı. Taguchi deney tasarımı ile önerilen 81 farklı senaryo sonuçları OpenFAST açık kaynaklı rüzgar türbini simülasyon aracı ile elde edildi. Bu sonuçlara en küçük kareler yöntemi ile matematiksel bir model tanımlanarak, optimum güç çıktısı sağlayacak parametreler önerildi ve değerlendirildi.

YÖNTEM

Sayısal Model

Bu çalışmada incelenen rüzgar türbinlerinin aerodinamik analizleri, NREL (National Renewable Energy Laboratory) tarafından geliştirilen ve FAST (Fatigue, Aerodynamics, Structures, and Turbulence) yazılımının geliştirilmiş bir sürümü olan OpenFAST açık kaynak kodlu simülasyon aracı ile yürütülmüştür. Bu simülasyon aracında analizler, birbirine bağlı

olan alt modüller ile gerçekleştirilmektedir. FAST'ın modüler arayüzü ve bağlayıcı sistemi ise tüm modellerin birbirine bağlanması için kullanılmaktadır. AeroDyn, aerodinamik analiz yazılımıdır ve rüzgar türbinleri için detaylı aerodinamik hesaplamalar yapmak amacıyla kullanılan bir modüldür (Jonkman vd., 2015). Bu modül, art izi çözümü için kanat elemanı momentum teorisi (BEMT) ve genelleştirilmiş dinamik art izi teorisi kullanabilmektedir. SevroDyn, kontrol ve aktüatör (servo) modelleme modülüdür. Rüzgar türbinlerinin kontrol sistemlerini, jeneratörlerini ve aktüatörlerini simüle etmek için kullanılır. ElastoDyn, kanatları düz ve izotropik kirişler olarak modelleyip Euler-Bernoulli kiriş teorisini temel alırken doğrudan diferansiyel denklemler çözmek yerine modal analiz yaklaşımını kullanmaktadır (Jonkman vd., 2005). FAST.Farm, rüzgar çiftliklerindeki türbinlerin güç performanslarını ve oluşan yapısal yükleri öngörmek amacıyla geliştirilmiş bir mühendislik aracıdır. Bireysel türbinlerin aero-servo-hidro-elastik dinamiklerinin çözümünde OpenFAST kullanırken, atmosferik sınır tabakadaki rüzgar alanı ile rüzgarın tüm çiftliğe yayılımını ve türbinlerle etkileşimini dikkate alır. Ayrıca art izi etkilerini, adveksiyonunu, saptırılmasını, dolambaçlı hareketini (wake meandering) ve art izi birleşimlerini de işleme katmaktadır. FAST.Farm dinamik art izi dolambaçlı hareketi (Dynamic Wake Meandering -DWM) ilkelerine göre tasarlanmıştır (Jonkman ve Shaler, 2021). OpenFAST, türbini aktüatör disk olarak ele alarak kanat elemanı momentum teorisini (BEMT) kullanır ve yerel aerodinamik kuvvetleri hesaplar. BEMT modeli üç boyutlu etkileri içermese de uç, kök ve eğrilik düzeltmelerini içerir. FAST.Farm, bu aerodinamik verileri temel alarak art izi etkileşimlerini analiz eder ve ardışık sıralanmış türbinlerde yalnızca yukarı akış türbininin art izi etkisini dikkate alır. Ayrıca, art izi genişlemesi, sapması ve dolambacını üç boyutlu çözüm yerine basitleştirilmiş modellerle temsil ederek hesaplamaları gerçekleştirir.

DENEY TASARIMI

Genichi Taguchi tarafından önerilen Taguchi metodu, çok faktörlü durumlar için kullanılan ve istatistiksel bir teknik olan Deney Tasarım (DOE) yönteminin uygulamalara yönelik bir formudur (Roy, 2001). Taguchi yöntemi, az sayıda deneyle birden fazla değişkenin etkisini analiz etmek için ortogonal dizilerden faydalanır ve bu sayede geleneksel deney tasarım yöntemlerine göre daha verimli bir çözüm sunar (Türkmen vd., 2008). Taguchi yöntemi, süreç parametrelerinin etkisini analiz etmek amacıyla, hem ortalamayı hem de değişkenliği göz önünde bulunduran sinyal-gürültü (S/N) oranı adı verilen istatistiksel bir performans metriği kullanır. Bu oran, ortalamanın (sinyal) standart sapmaya (gürültü) bölünmesiyle elde edilir ve optimize edilecek sistemin kalite kriterlerine göre belirlenir. Yaygın olarak kullanılan S/N oranları arasında N tipi (nominal the better), L tipi (larger the better) ve S tipi (smaller the better) yöntemleri bulunur (Ghosh vd., 2017; Kumsal, 1994). Bu üç tip yöntem şu şekilde formüle edilir:

$$L\ tipi: \eta_L = -10 \log\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{Y_i^2}\right)$$

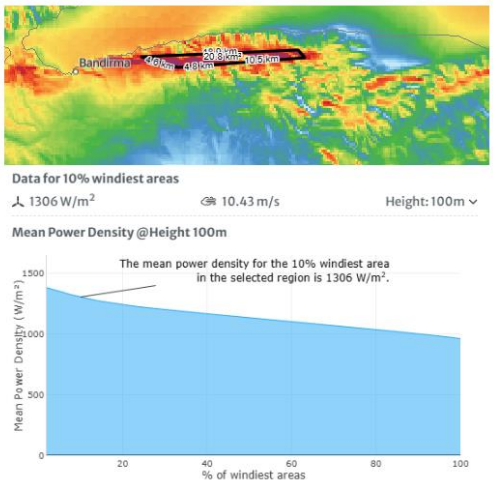
$$S\ tipi: \eta_S = -10 \log\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} Y_i^2\right)$$

$$N\ tipi: \eta_N = -10 \log\left(\frac{\overline{y_i}}{s^2}\right)$$

Burada η_L, η_S ve η_N performans istatistikleridir, n deneysel kombinasyon için yapılan tekrar sayısı ve Y_i ise deneyin performans değeridir. Nominal performans istatistiğinde kullanılan $\overline{y_i}$ ve s^2 terimleri sırasıyla ölçümlerin ortalamasını ve varyansını ifade etmektedir. Bu çalışmada, tandem yerleştirilmiş rüzgar türbinlerinden elde edilen toplam gücün en yüksek olması hedeflendiği için larger the better (L tipi) yani en büyük en iyi kriteri kullanılmıştır.

Rüzgar Çiftliği Bölge Seçimi

Türkiye'de kuvvetli rüzgar alan ve yıllık ortalaması yüksek olan Bandırma bölgesinden seçilen konuma ait (Bknz Şekil 1) ortalama rüzgar hızı baz alınarak çalışma gerçekleştirilmiştir. TÜREB 2022 Enerji İstatistik Raporuna göre (TUREB, 2022) Bandırma ilinde 4 adet Rüzgar Enerji Santrali (RES) bulunmaktadır ve bunların 3 tanesi bu çalışmada seçilen bölgede yer almaktadır. Seçilen bölgede 100 m'deki ortalama rüzgar hızı değeri 10.4 m/s'ye ulaşmakla birlikte bölgede aktif olarak çalışan RES gücü yıllık 267.7 MW değerine ulaşmaktadır.

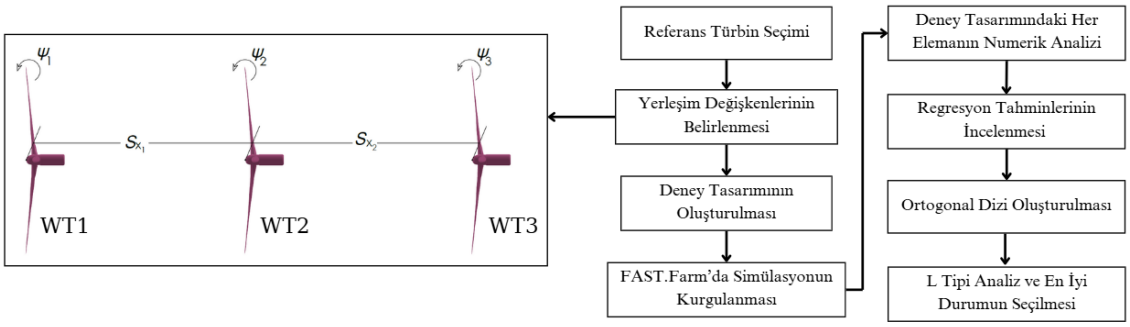


Şekil 19. Bandırma bölgesinde 100m yükseklikteki ortalama rüzgar değeri (Global Wind Atlas, 2024)

OPTİMİZASYON METODOLOJİSİ

Rüzgar çiftliği analizine dair optimizasyon aşamaları Şekil 2'de gösterilmektedir. Referans türbini olarak NREL 5MW seçilmiştir. Bu model nominal rüzgar hızı 11.4 m/s olan ve çalışma koşullarını 3-25 m/s rüzgar hızları arasında gerçekleştiren, anma gücü 5 MW olan, 3 kanatlı kara-deniz temelli olarak tasarlanmış bir referans modeldir. Modele ait temel özellikler Tablo-1'de listelenmiştir. Bu çalışmada akış yönünde türbinler arası mesafe değerleri S_{X_1} ve

S_{X_2} için rotor çapı cinsinden 3D, 4D ve 5D mesafeleri konfigürasyonlarda dikkate alınacaktır. Türbinler için tanımlanan sapma açısı değerleri, yukarı akış yönündeki türbin indisi 1 olacak şekilde sırasıyla ψ_1, ψ_2 ve ψ_3'dir. Bu sapma açıları, pozitif yön saat yönü tersi olacak şekilde, $-20°$'den $20°$'ye $5°$'lik adım aralıklarıyla değiştirilerek simülasyonlar gerçekleştirilecektir. Modele ait faktörler ve sahip olduğu seviyeler Tablo-2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Optimizasyon aşamaları

Tablo 1. NREL 5MW referans türbinine ait temel özellikler (Jonkman vd., 2009)

Genel Tanım	Maks. Anma gücü	5 MW
	Rotor konfigürasyonu	3 kanat
	Rotor çapı	126 m
	Göbek (Hub) yüksekliği	90 m
	Başlama, anma, durma rüzgar hızları	3 m/s, 11.4 m/s, 25 m/s
	Başlama, anma rotor hızları	6.9 rpm, 12.1 rpm
Kanat (LM 61.5 P)	Uzunluk	61.5 m
	Kanat Profilleri	Cylinder1-Cylinder2-DU40_A17-DU35_A17-DU30_A17-DU25_A17-DU21_A17-NACA64_A17

Tablo 2. Deney tasarımında yer alan faktörler ve seviyeleri

		Seviye								
Faktörler	Sembol	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. ve 2. Türbin Mesafesi	S_{X_1}	3D	4D	5D						
2. ve 3. Türbin Mesafesi	S_{X_2}	3D	4D	5D						
1. Türbin Sapma Açısı	ψ_1	-20°	-15°	-10°	-5°	0°	5°	10°	15°	20°
2. Türbin Sapma Açısı	ψ_2	-20°	-15°	-10°	-5°	0°	5°	10°	15°	20°
3. Türbin Sapma Açısı	ψ_3	-20°	-15°	-10°	-5°	0°	5°	10°	15°	20°

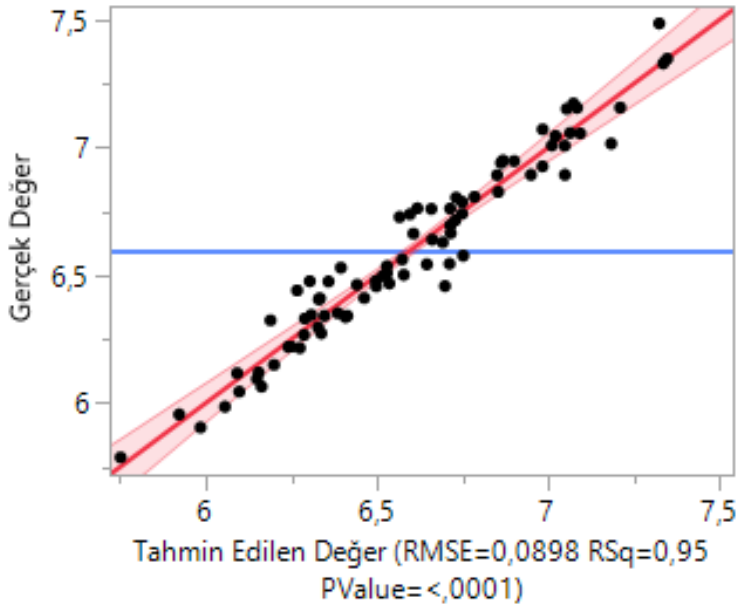
BULGULAR VE TARTIŞMA

Tüm değişkenler düşünüldüğünde tam faktöriyel deney tasarımı ele alınamayacağı için bu değişken etkileşimleri incelenecek şekilde 81 farklı durumdan oluşan Deney Tasarımı (DOE) oluşturulmuştur. Deney tasarımında oluşan durum için analiz, IEC 61400 standardında bir türbinin kısa vadeli simülasyonu için belirlenen 600 saniye simülasyon süresi ele alınarak analizler yürütülmüştür. NREL 5 MW rüzgar türbini tekil olarak analizi gerçekleştirildiğinde 10.4 m/s'lik rüzgar hızında 3.78 MW'lık enerji üretmektedir.

Deney sonuçlarında bağımsız değişkenler (mesafe ve sapma açısı) ile bağımlı değişken (toplam güç çıktısı) arasındaki ilişkiyi tahmin etmek için en küçük kareler yöntemine dayalı lineer regresyon modeli oluşturulmuştur. Bu model belirli koşullar için elde edilen verilerden genel bir matematiksel model çıkararak farklı senaryolar için tahmin yapma olanağı sunar. Şekil 3'de deneye ait gerçek ve tahmin edilen değerlerin kıyası görülmektedir. Model %95'lik bir R^2 değerine sahiptir. Bu durum modelin bağımlı değişkendeki değişimin %95'ini açıkladığı (determination coefficient) anlamına gelmektedir. RMSE (Root Mean Square Error) değeri, hataların ortalama karekökünü ifade eder ve şekle bakıldığında değerin 0'a yakınsaması nedeniyle modelin tahmin değerlerinin gerçek değere oldukça yakın olduğu söylenebilir.

Tablo 3. Deney tasarımında yer alan ve total gücün en yüksek olduğu 3 sonuç

Case	S_{X_1}	S_{X_2}	ψ_1	ψ_2	ψ_3	WT1 (MW)	WT2 (MW)	WT3 (MW)	TOTAL (MW)
43	5D	5D	20°	20°	-10°	3.165	1.81	2.51	7.485
56	5D	5D	-5°	15°	10°	3.782	1.578	1.969	7.329
65	5D	5D	20°	-10°	-5°	3.165	2.237	1.945	7.347

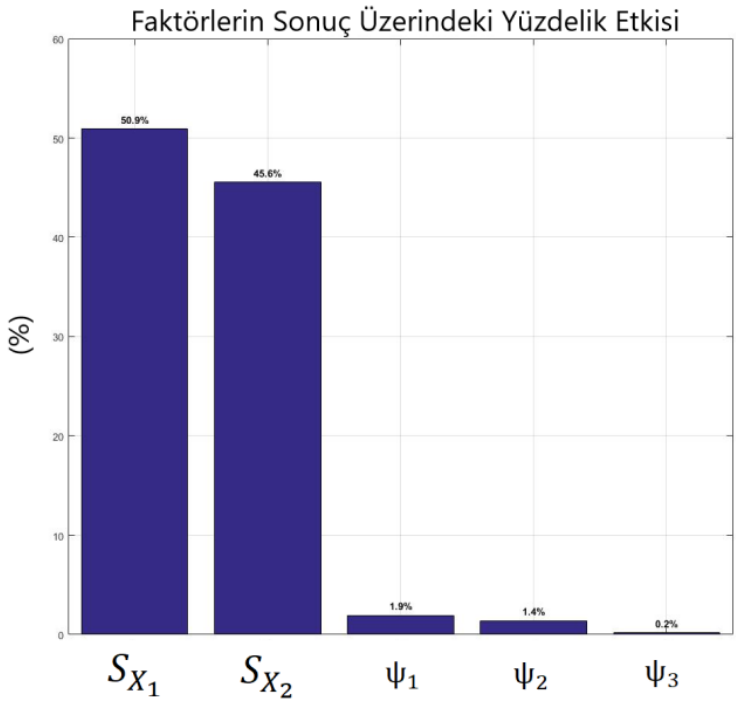


Şekil 3. Modele ait tahmin performansı

Modeldeki faktörlerin etkilerini incelemek ve konfigürasyondaki değişkenlerin davranışını anlamak için *Sum of Squares* (SS) yöntemi kullanılabilir. Bu yöntem modelde yer alan faktörler için sayısal bir değer sunarak model üzerindeki yüzdelik etkisinin hesaplatılmasına yardımcı olur. Üç seviyeli bir değişken için *SS*'in hesaplanması şu şekilde ifade edilir (Funkenbusch, 2004):

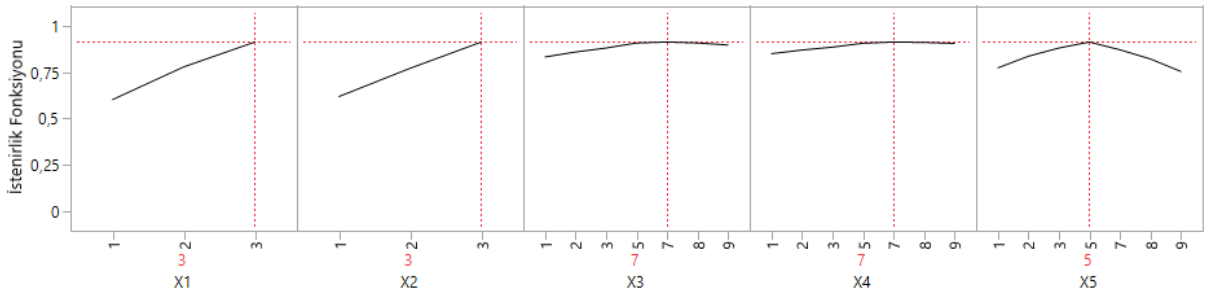
$$SS = n_{-1}(m_{-1} - m^*)^2 + n_0(m_0 - m^*)^2 + n_{+1}(m_{+1} - m^*)^2$$

Burada n_{-1}, n_0 ve n_{+1} her seviyede bulunan gözlem sayılarını ifade eder. Bu seviyelerdeki ortalama yanıt değerleri ise m_{-1}, m_0 ve m_{+1} ile ifade edilmektedir. Tüm gözlemlerin genel ortalaması ise m^* olarak ifade edilir. Şekil 4'te ise *SS* sonucunda modele ait faktörlerin, sonuca etkileri yüzdelik olarak verilmektedir. Bu şekilden yola çıkarak şunlar söylenebilir; S_{X_1} ve S_{X_2} güç üretimindeki etkisi sırasıyla %50.9 ve %45.6'lık değere sahipken dizilimde yer alan üçüncü türbinin sapma açısındaki değişim ψ_3, modelde yalnızca %0,2'lik bir etkiye sahiptir. Bu değer oldukça küçük olmakla birlikte deney tasarımının iyileştirilmesi adına modelden çıkarılabilir.



Şekil 4. Deney tasarımındaki faktörlerin güç çıktısı üzerindeki yüzdelik etkileri

Regresyon sonucunda ise faktörlerin sahip olduğu seviyelerin toplam güç tahmini Şekil 5'te tahmin profilleri olarak gösterilmektedir. Sonuçlar, regresyon modelinde maksimizasyon hedeflenerek tahmin edilmiş ve sonucunda bir model önerisi oluşturmuştur. İstenirlik fonksiyonunda her faktör için değerin 1 olması en iyi konfigürasyonu modellemektedir ve şekil üzerinde önerilen konfigürasyon modeli 1 değerine yakınsamaktadır. Bu konfigürasyon sonucu değerlendirilirse toplam güç çıktısı 7.51 MW olarak bulunmuştur fakat bu konfigürasyonun ideal koşulu temsil etmediği açıktır.

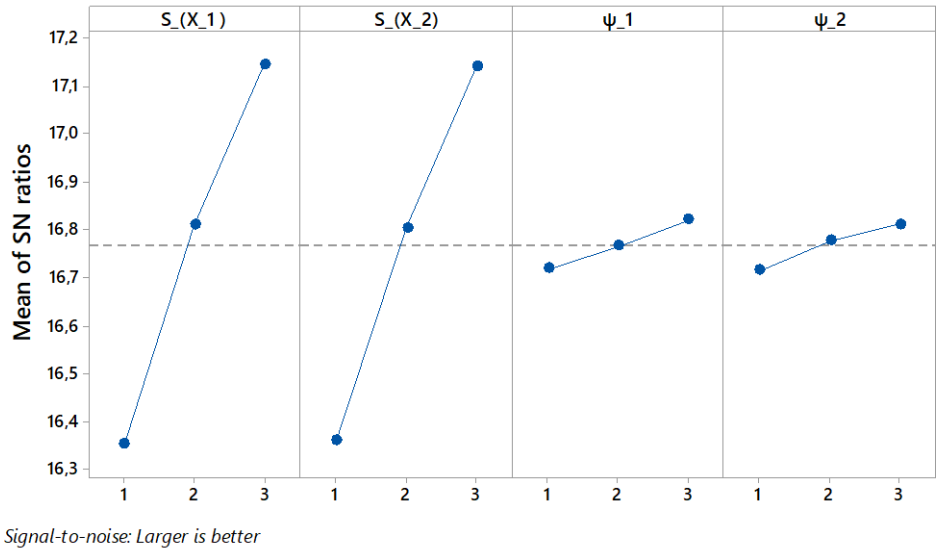


Şekil 5. Regresyon tahmin profili

Şekil 5'ten yola çıkarak faktör sayısı ve sapma açı seviyesi, bir ortogonal dizi oluşturmak için sayıca indirgenebilir. Türbinler arası mesafe faktör ve seviyeleri sabit tutularak oluşturulan tasarım Tablo 4'te verilmiştir. Üçüncü türbinin sapma açı değeri 0°'de sabit bırakılmıştır. İlk iki türbin için ise olasılık değeri en yüksek üç değer olan 0°, 10° ve 15° alınmıştır. Bu bağlamda en iyi sonucun bulunması için L9 (3^4) ortogonal dizisi önerilmektedir. Ortogonal dizi için L tipi analiz çözümüne ait SN grafiği Şekil 6'da verilmiştir. S_{X_1} ve S_{X_2} faktörlerinin büyük eğime sahip olması sonuç üzerindeki etkisinin yüksek olduğunu ve ψ_1 ve ψ_2 faktörlerinin etkisinin mesafeye kıyasla düşük olduğu bilgisine ulaşılmaktadır. Bu bilgilerden yola çıkarak sistem için optimal konfigürasyon durumu bütün faktörlerin üçüncü seviyelerinde gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde 7.55 MW'lık toplam güç çıktısına ulaşılmıştır.

Tablo 4. L9 Ortogonal dizisi

		Seviye		
Faktörler	Sembol	1	2	3
1. ve 2. Türbin Mesafesi	S_{X_1}	3D	4D	5D
2. ve 3. Türbin Mesafesi	S_{X_2}	3D	4D	5D
1. Türbin Sapma Açısı	ψ_1	0°	10°	15°
2. Türbin Sapma Açısı	ψ_2	0°	10°	15°



Şekil 6. L9 Ortogonal diziye ait SN oranları

SONUÇ

Bu çalışma, Bandırma bölgesi rüzgar hız değerini baz alarak tandem yerleşimli 3 türbinden oluşan rüzgar çiftliği modeli önermiştir. Çiftlik güç üretimini etkileyen mesafe parametreleri ve türbin sapma açı değerleri model faktörleri olarak ele alınarak optimal tasarım için bir çalışma sunulmuştur. Çiftlik modeli için başlangıçta 81 farklı senaryodan oluşan Deney Tasarımı oluşturulup her senaryo için toplam güç çıktısı değerlendirilerek, faktörlerin model üzerindeki etkisi regresyon tahmin sonuçlarıyla incelenmiştir. Türbin mesafelerindeki değişimin model üzerinde büyük bir etki oluşturduğu, sapma açılarının ise etki değerlerinin düşük olduğu gözlemlenmiştir. Deney Tasarımının iyileştirilmesi adına ilk iki türbinde en yüksek sonucu veren 0°, 10° ve 15°'lik sapma açıları değerlendirilmiş ve üçüncü türbin sapma açısı 0°'de sabit bırakılmıştır. Oluşturulan bu deney tasarımı doğrultusunda en iyi durumun bulunması için L9 ortogonal dizisi önerilmiştir. Ortogonal dizideki senaryo çıktıları ele alınarak L tipi Taguchi yöntemi kullanılmış ve optimal değerin bulunması için SN grafiği elde edilmiştir. Çiftlik modelinde en yüksek güç çıktısı, türbinler arası mesafenin 5D ve ilk iki türbinin sapma açısının 15° olduğu durumda 7.55 MW olarak elde edilmiştir.

KAYNAKLAR

Akçadırcı, E. (2006). Dairesel silindir etrafındaki akım parametrelerinin deneysel olarak incelenmesi Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye

Ali, N., Hamilton, N., DeLucia, D., & Bayoán Cal, R. (2018). Assessing spacing impact on coherent features in a wind turbine array boundary layer. Wind Energy Science, 3, 43–56.

Bartl, J., Pierella, F., & Sætrana, L. (2012). Wake measurements behind an array of two model wind turbines. Energy Procedia, 24, 305-312.

Choi, N. J., Nam, S. H., Jeong, J. H., & Kim, K. C. (2013). Numerical study on the horizontal axis turbines arrangement in a wind farm: Effect of separation distance on the turbine aerodynamic power output. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 117, 11-17.

Damiani, R., Dana, S., Annoni, J., Fleming, P., Roadman, J., van Dam, J., & Dykes, K. (2018). Assessment of wind turbine component loads under yaw-offset conditions. Wind Energy Science, 3(1), 173-189.

Dou, B., Qu, T., Lei, L., & Zeng, P. (2020). Optimization of wind turbine yaw angles in a wind farm using a three-dimensional yawed wake model. Energy, 209, 118415.

Freddi, A., & Salmon, M. (2018). Introduction to the Taguchi Method. Design Principles and Methodologies, 159–180.

Funkenbusch, P. D. (2004). Practical guide to designed experiments: a unified modular approach. CRC Press.

Ghosh, N., Pal, P. K., & Nandi, G. (2017). GMAW dissimilar welding of AISI 409 ferritic stainless steel to AISI 316L austenitic stainless steel by using AISI 308 filler wire. Engineering Science and Technology, an International Journal, 20(4), 1334-1341.

Global Wind Atlas, Wind resource map: Balıkesir, Turkey [Erişim tarihi: Ocak 2025, https://globalwindatlas.info/en/area/Turkey/Balikesir]

Hoxha, B., Shesho, I. K., & Filkoski, R. V. (2022). Analysis of Wind Turbine Distances Using a Novel Techno-Spatial Approach in Complex Wind Farm Terrains. Sustainability, 14(20), 13688.

Jonkman, J. M., & Buhl, M. L. Jr. (2005). FAST user's guide (NREL/TP-500-38230). National Renewable Energy Laboratory.

Jonkman, J. (2009). "Definition of a 5-mw nrel reference wind turbine for offshore system development," Tech. Rep. NREL/TP-500-38060. National Renewable Energy Laboratory (NREL).

Jonkman, J. M., Hayman, G. J., Jonkman, B. J., Damiani, R. R., & Murray, R. E. (2015). AeroDyn v15 user's guide and theory Manual. NREL: Golden, CO, USA.

Jonkman, J., & Shaler, K. (2021). FAST.Farm user's guide and theory manual (Technical Report No. NREL/TP-5000-78485). National Renewable Energy Laboratory (NREL).

Jonkman, J., Butterfield, S., Musial, W., & Scott, G. (2009). Definition of a 5-MW NREL reference wind turbine for offshore system development (Tech. Rep. NREL/TP-500-38060). National Renewable Energy Laboratory (NREL).

Kumsal, H. (1994). Taguchi Metodu İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü. Türkiye

Majid Bastankhah, & Porté-Agel, F. (2019). Wind farm power optimization via yaw angle control: A wind tunnel study. J. Renewable Sustainable Energy, 11(2), 023301.

Nash, R., Nouri, R., & Vasel-Be-Hagh, A. (2021). Wind turbine wake control strategies: A review and concept proposal. Energy Conversion and Management, 245, 114581.

Neunaber, I., Hölling, M., Stevens, R. J. A. M., Schepers, G., & Peinke, J. (2020). Distinct Turbulent Regions in the Wake of a Wind Turbine and Their Inflow-Dependent Locations: The Creation of a Wake Map. Energies, 13(20), 5392.

Roy, R. K. (2001). Design of experiments using the Taguchi approach. John Wiley & Sons Inc., New York.

Sanderse, B. (2009). Aerodynamics of wind turbine wakes Literature review.

Stevens, R. J. A. M., Gayme, D. F., & Meneveau, C. (2016). Effects of turbine spacing on the power output of extended wind-farms. Wind Energy, 19, 359–370.

Stoevesandt, B., Schepers, G., Sun, Y., & Fuglsang, P. (2022). The Issue of Aerodynamics in Wind Energy. In Stoevesandt, B., Schepers, G., Fuglsang, P., & Sun, Y. (Eds.), Handbook of Wind Energy Aerodynamics. Springer, Cham.

Sun, H., Yang, H., & Gao, X. (2019). Investigation into spacing restriction and layout optimization of wind farm with multiple types of wind turbines. Energy, 168, 637-650.

TUREB, Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği, Türkiye rüzgar enerjisi istatistik raporu, Temmuz 2022.

Türkmen, İ., Gül, R., & Çelik, C. (2008). A Taguchi approach for investigation of some physical properties of concrete produced from mineral admixtures. Building and Environment, 43(6), 1127–1137.

Xiaolei Yang, Kang, S., & Sotiropoulos, F. (2012). Computational study and modeling of turbine spacing effects in infinite aligned wind farms. Physics of Fluids, 24(11), 115107.

Zong, H., & Porté-Agel, F. (2021). Experimental investigation and analytical modelling of active yaw control for wind farm power optimization. Renewable Energy, 170, 1228–1244.

ÇOK BOYUTLU RÖNTGEN GÖRÜNTÜLERİNİN KALİTESİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ

IMPROVING THE QUALITY OF MULTI-DIMENSIONAL X-RAY IMAGES

GÜLTEKİN SÜLEYMANOVA
Bilgi Teklonojileri ve Yönetim, Tıbbi teknoloji mühendisliği, 3314.01
ORCID NO: 0009-0004-0339-5324

ÖZET

Röntgen görüntüleme, tıbbi tanı ve endüstriyel incelemelerde yaygın olarak kullanılan önemli bir tekniktir. Ancak, özellikle çok boyutlu röntgen görüntüleri elde edilirken düşük kontrast, gürültü, bulanıklık ve çözünürlük kaybı gibi çeşitli kalite sorunları ortaya çıkmaktadır. Bu tür görüntülerin iyileştirilmesi, hem tıbbi teşhis süreçlerinin doğruluğunu artırmak hem de endüstriyel uygulamalarda daha hassas analizler yapmak için büyük önem taşımaktadır.

Görüntü kalitesini artırmak amacıyla çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Gürültü azaltma için dalgacık dönüşümü, Gauss ve medyan filtreler gibi klasik yöntemler kullanılabilirken, daha gelişmiş teknikler arasında derin öğrenme tabanlı süper çözünürlük algoritmaları ve yapay sinir ağları yer almaktadır. Bu yöntemler, röntgen görüntülerinin daha keskin ve detaylı hale gelmesini sağlayarak teşhis veya analiz süreçlerini iyileştirmektedir.

Ayrıca, tomografi ve çok kesitli bilgisayarlı tomografi (CT) gibi çok boyutlu röntgen görüntüleme tekniklerinde, görüntü rekonstrüksiyonunun kalitesi büyük önem taşımaktadır. Geleneksel ters projeksiyon yöntemleri yerine ileri düzey derin öğrenme modelleri ve iteratif rekonstrüksiyon algoritmaları kullanılarak daha az radyasyon dozu ile daha yüksek kaliteli görüntüler elde edilebilmektedir.

Bu çalışma, çok boyutlu röntgen görüntülerinin kalitesini iyileştirmek için kullanılan yöntemleri karşılaştırmalı olarak ele alarak en etkili teknikleri belirlemeyi amaçlamaktadır. Bu sayede, hem tıbbi hem de endüstriyel görüntüleme alanlarında daha güvenilir ve yüksek kaliteli röntgen görüntüleri elde edilmesi sağlanacaktır.

Anahtar kelimeler: röntgen görüntü iyileştirme, görüntü gürültü azaltma, derin öğrenme ve yapay zeka, süper çözünürlük teknikleri, görüntü rekonstrüksiyonu

ABSTRACT

X-ray imaging is an important technique widely used in medical diagnosis and industrial inspections. However, especially when obtaining multidimensional X-ray images, various quality issues such as low contrast, noise, blurriness, and loss of resolution emerge. Improving

these images is crucial for both enhancing the accuracy of medical diagnostic processes and performing more precise analyses in industrial applications.

Various methods have been developed to enhance image quality. While classical methods like wavelet transformation, Gaussian, and median filters can be used for noise reduction, more advanced techniques include deep learning-based super-resolution algorithms and artificial neural networks. These methods enable X-ray images to become sharper and more detailed, thereby improving diagnostic or analysis processes.

Moreover, in multidimensional X-ray imaging techniques such as tomography and multi-slice computed tomography (CT), the quality of image reconstruction is of great importance. Instead of conventional back-projection methods, advanced deep learning models and iterative reconstruction algorithms are used to obtain higher quality images with a lower radiation dose.

This study aims to determine the most effective techniques by comparatively examining the methods used to improve the quality of multidimensional X-ray images. In this way, more reliable and high-quality X-ray images will be obtained in both medical and industrial imaging fields.

Keywords: x-ray image enhancement, image noise reduction, deep learning and artificial intelligence, super-resolution techniques, image reconstruction

GİRİŞ

Günümüzde röntgen görüntüleme, tıbbi tanı ve endüstriyel inceleme alanlarında kritik bir rol oynamaktadır. Geleneksel röntgen yöntemleri, yapısal bilgileri ortaya koymada uzun süredir kullanılan temel teknikler arasında yer alsa da, multidimensional yani çok boyutlu röntgen görüntüleme teknolojileri, iç yapılar hakkında daha detaylı ve kapsamlı veri sunması bakımından büyük avantaj sağlamaktadır. Bu gelişmeler, özellikle karmaşık anatomik yapılar veya endüstriyel malzeme analizlerinde daha doğru ve güvenilir sonuçlara ulaşılmasına olanak tanımaktadır.

Ancak, çok boyutlu röntgen görüntülerinin elde edilmesi sürecinde karşılaşılan düşük kontrast, gürültü, bulanıklık ve çözünürlük kaybı gibi kalite sorunları, görüntülerin yorumlanmasını zorlaştırmakta ve yanlış teşhis veya analiz riskini artırmaktadır. Geleneksel görüntü işleme teknikleri arasında dalgacık dönüşümü, Gauss ve medyan filtrelerin kullanılması gibi yöntemler yer alsa da, bu yöntemler bazen yetersiz kalabilmekte ve daha gelişmiş yaklaşımların gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Son yıllarda, yapay zeka ve derin öğrenme temelli algoritmalar, röntgen görüntülerinin kalitesini artırmada umut vaat eden çözümler sunmaktadır. Derin öğrenme tabanlı süper çözünürlük algoritmaları ve yapay sinir ağları, düşük kaliteli görüntülerdeki detayları yeniden

yapılandırarak daha keskin ve net sonuçlar elde edilmesine yardımcı olmaktadır. Ayrıca, çok kesitli bilgisayarlı tomografi (CT) gibi ileri görüntüleme tekniklerinde, geleneksel ters projeksiyon yöntemleri yerine, derin öğrenme modelleri ve iteratif rekonstrüksiyon algoritmaları kullanılarak, hem daha yüksek kaliteli görüntüler elde edilmekte hem de radyasyon dozu minimize edilmektedir.

Bu çalışma, çok boyutlu röntgen görüntülerinin kalitesini artırmak amacıyla kullanılan hem klasik hem de modern yöntemleri kapsamlı bir şekilde ele almayı hedeflemektedir. Araştırmada, mevcut yöntemlerin performansları, avantajları ve sınırlamaları karşılaştırmalı olarak incelenerek, tıbbi teşhis ve endüstriyel uygulamalarda en etkin stratejilerin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu bağlamda, geliştirilen ve uygulanan yöntemlerin, hem hasta güvenliğini artırma hem de endüstriyel analizlerin doğruluğunu sağlama açısından büyük öneme sahip olduğu vurgulanmaktadır.

Görüntü kalitesinin iyileştirilmesi, yalnızca teknolojik bir ilerleme olarak değil, aynı zamanda doğru tanı, erken müdahale ve daha etkin tedavi süreçlerine olanak tanıyan kritik bir adım olarak değerlendirilmektedir. Bu nedenle, mevcut literatürün ışığında, yeni nesil görüntü işleme tekniklerinin röntgen görüntülerine entegrasyonu, hem klinik hem de endüstriyel alanlarda geleceğe yönelik önemli gelişmelerin habercisi niteliğindedir.

ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Bu çalışmada, çok boyutlu röntgen görüntülerinin kalitesini artırmak amacıyla klasik ve modern görüntü işleme yöntemleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Araştırmanın temel hedefi, düşük kontrast, gürültü, bulanıklık ve çözünürlük kaybı gibi sorunların giderilmesinde hangi yöntemin daha etkili olduğunu ortaya koymaktır.

Yöntem ve Uygulama Adımları:

Veri Toplama:

Farklı kaynaklardan elde edilen çok boyutlu röntgen görüntüleri kullanılarak, görüntü kalitesi açısından standart bir veri seti oluşturulmuştur.

Klasik Yöntemler:

Gauss Filtre: Görüntüdeki gürültüyü azaltmada kullanılan temel yöntemlerden biridir.

Medyan Filtre: Özellikle tuz-biber gürültüsünü giderme konusunda etkili olup, Gauss filtreden daha iyi performans sergilemiştir.

Dalgacık Dönüşümü: Görüntüdeki farklı frekans bileşenlerini ayırarak, detayların korunmasına olanak sağlamıştır.(Gonzalez, R. C., & Woods, R. E. 2018)

Modern Yaklaşımlar:

Derin Öğrenme Tabanlı Süper Çözünürlük Algoritmaları: Düşük çözünürlüklü görüntülerde detayların yeniden inşasında üstün sonuçlar elde edilmiştir.

İteratif Rekonstrüksiyon Algoritmaları: Özellikle tomografi gibi çok boyutlu görüntüleme yöntemlerinde, daha düşük radyasyon dozu ile yüksek kaliteli sonuçlar sağlanmıştır.

Performans Değerlendirmesi:

Görüntü iyileştirme performansı, her yöntemin sağladığı iyileştirme puanlarına göre sayısal olarak ölçülmüştür. Örnek veriler üzerinden yapılan değerlendirmede:

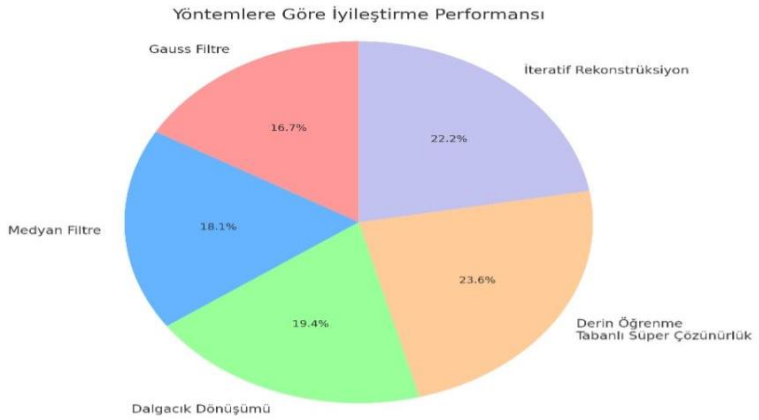
Gauss Filtre: 60 puan

Medyan Filtre: 65 puan

Dalgacık Dönüşümü: 70 puan

Derin Öğrenme Tabanlı Süper Çözünürlük Algoritmaları: 85 puan

İteratif Rekonstrüksiyon Algoritmaları: 80 puan



Toplam puan üzerinden hesaplanan oranlar, yöntemlerin katkı yüzdesini ortaya koymuştur. Bu veriler, özellikle derin öğrenme tabanlı süper çözünürlük algoritmalarının en yüksek iyileştirmeyi sağladığını göstermektedir.

Klasik yöntemlerin sağladığı iyileştirmeler, temel gürültü azaltma ve kontrast artışı açısından yeterli sonuçlar vermekle birlikte, detay kaybı gibi dezavantajlar gözlemlenmiştir.

Modern yaklaşımlar, özellikle derin öğrenme destekli yöntemler, düşük çözünürlüklü görüntülerdeki kaybolan detayları yeniden yapılandırmada önemli avantajlar sunmaktadır.

İteratif rekonstrüksiyon algoritmaları, tomografi uygulamalarında hem görüntü kalitesini artırmakta hem de radyasyon dozu düşürülmesine olanak tanımaktadır.

Sayısal verilerle yapılan değerlendirmede, derin öğrenme tabanlı süper çözünürlük yönteminin toplam iyileştirme performansının en yüksek (%23,61) olduğu, bunu iteratif rekonstrüksiyonun (%22,22) takip ettiği belirlenmiştir.3. (Wang, Z., & Bovik, A. C. 2002)

Araştırma sonuçları, çok boyutlu röntgen görüntülerinin kalitesini artırmada modern, yapay zeka ve derin öğrenme temelli yöntemlerin klasik yöntemlere göre daha etkili olduğunu ortaya koymaktadır. Bu bulgular, hem tıbbi tanı süreçlerinde hem de endüstriyel görüntü

analizlerinde daha net, detaylı ve güvenilir sonuçlar elde edilmesine olanak tanımaktadır. Gelecekte, bu yöntemlerin daha da entegre edilerek optimize edilmiş sistemler geliştirilmesi, teşhis doğruluğunu artıracak ve uygulama alanlarını genişletecektir.

SONUÇ

Bu çalışma, çok boyutlu röntgen görüntülerinin kalitesini artırmak için kullanılan farklı teknikleri karşılaştırmalı olarak ele almıştır. Elde edilen bulgular, modern derin öğrenme tabanlı süper çözünürlük algoritmalarının ve iteratif rekonstrüksiyon yöntemlerinin, klasik gürültü azaltma tekniklerine kıyasla daha yüksek başarı sağladığını göstermektedir.

Özellikle, derin öğrenme destekli yöntemlerin düşük çözünürlüklü röntgen görüntülerinde kaybolan detayları geri kazanmada en etkili teknik olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra, iteratif rekonstrüksiyon algoritmaları da tomografi gibi çok boyutlu görüntüleme sistemlerinde yüksek kaliteli sonuçlar sunarken, radyasyon dozunu azaltma açısından avantaj sağlamaktadır.

Araştırmanın sonuçları, tıbbi teşhis ve endüstriyel görüntüleme süreçlerinde görüntü kalitesini artırmaya yönelik yeni nesil yapay zeka destekli yaklaşımların benimsenmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Gelecekte, bu yöntemlerin daha gelişmiş versiyonlarının geliştirilmesi ve hibrit tekniklerle entegrasyonu, röntgen görüntülemede daha keskin, daha net ve daha doğru sonuçlar elde edilmesini sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

1. Gonzalez, R. C., & Woods, R. E. (2018). Digital Image Processing. Pearson.
2. Jain, A. K. (1989). Fundamentals of Digital Image Processing. Prentice-Hall.
3. Wang, Z., & Bovik, A. C. (2002). “A Universal Image Quality Index,” IEEE Signal Processing Letters, 9(3), 81-84.
4. Ronneberger, O., Fischer, P., & Brox, T. (2015). “U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation,” International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention (MICCAI).
5. Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). Deep Learning. MIT Press.

ÜLKELERİN ELEKTRİK TÜKETİMİ VE EKONOMİK BÜYÜME İLİŞKİSİ: SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ÇERÇEVESİNDE BİR ANALİZ

THE RELATIONSHIP BETWEEN COUNTRIES' ELECTRICITY CONSUMPTION AND ECONOMIC GROWTH: AN ANALYSIS WITHIN THE FRAMEWORK OF SUSTAINABILITY

Müfide NARLI
Dr., Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Çukurova University, Engineering Fakulty, Department of Industrial Engineering
ORCID ID: 0000-0001-8225-2911

Sefkan Yılmaz KARAMAN
Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Çukurova University, Engineering Fakulty, Department of Industrial Engineering

ÖZET

Bu çalışma, elektrik tüketimi ile ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi sürdürülebilirlik çerçevesinde incelemektedir. Elektrik tüketimi, ekonomik büyümenin temel unsurlarından biri olarak kabul edilirken, çevresel sürdürülebilirlik ile dengelenebilmesi çevre ve insan sağlığı açısından önemlidir. Bu araştırma kapsamında, gelişmiş, gelişmekte olan ve gelişmemiş ülkelerde elektrik tüketimi ile ekonomik büyüme arasındaki ilişki incelenmiş, yenilenebilir enerji kullanımının bu ilişkiyi nasıl etkilediği değerlendirilmiştir. Çalışmada 1965-2022 yılları arasındaki yıllık veriler kullanılmıştır. Bu veriler, Dünya Bankası, OECD ve UNDP gibi kaynaklardan elde edilmiştir. Araştırmada korelasyon analizi, regresyon analizi ve Granger nedensellik testi gibi istatistiksel yöntemler uygulanmıştır. Ülkelerin elektrik tüketimi ile ekonomik büyüme arasındaki ilişki gelişmişlik düzeyine göre karşılaştırılarak, ülkeler arasındaki farklılıklar ortaya konmuştur. Elde edilen bulgulara göre elektrik tüketiminin uzun vadede ekonomik kalkınmayı desteklediği, yenilenebilir enerji yatırımlarının ise karbon salımlarını azaltarak çevreye duyarlı büyümeyi teşvik ettiği tespit edilmiştir. Analizler, yenilenebilir enerji kullanım miktarı ile elektrik tüketimi arasında güçlü bir ters ilişki olduğunu gösterirken, ekonomik kalkınmanın elektrik tüketimi ile olan bağımlılığının ülkeden ülkeye değişiklik gösterdiği görülmüştür. Araştırma, yenilenebilir enerji stratejilerinin ekonomik büyümeyi çevresel sürdürülebilirlik ile uyumlu hale getirdiğini vurgulamakta ve bunun özellikle enerji yoğun sektörlerde daha belirgin olduğunu göstermektedir. Kosta Rika gibi çevresel sürdürülebilirliğe öncelik veren ülkelerin ekonomik kalkınma ile çevre koruma arasındaki dengeyi nasıl sağladığı, enerji politikalarının kalkınma üzerindeki etkilerini anlamak için önemli bir örnek olarak sunulmuştur. Sonuç olarak elektrik tüketimi ekonomik büyümenin önemli bir bileşeni olmakla birlikte, sürdürülebilir enerji politikaları bu ilişkinin doğasını değiştirebilmektedir. Bu çalışma, enerji politikalarının ekonomik büyüme üzerindeki

etkisini ve sürdürülebilir kalkınma hedefleri çerçevesinde enerji kullanımının nasıl optimize edilebileceğini anlamak için önemli bulgular sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Sürdürülebilirlik, elektrik tüketimi, ekonomik büyüme

ABSTRACT

This study examines the relationship between electricity consumption and economic growth within the sustainability framework. While electricity consumption is considered one of the essential elements of economic growth, balancing it with environmental sustainability is essential for the environment and human health. Within the scope of this research, the relationship between electricity consumption and economic growth in developed, developing, and underdeveloped countries was examined and how renewable energy use affects this relationship was evaluated. Annual data between the years 1965-2022 were used in the study. These data were obtained from sources such as the World Bank, OECD, and UNDP. Statistical methods such as correlation analysis, regression analysis and Granger causality test were applied in the study. The relationship between electricity consumption and economic growth was compared according to the level of development and the differences between countries were revealed. According to the findings, it was determined that electricity consumption supports economic development in the long term, while renewable energy investments reduce carbon emissions and encourage environmentally friendly growth. While the analyses show that there is a strong inverse relationship between the amount of renewable energy use and electricity consumption, it was observed that the dependence of economic development on electricity consumption varies from country to country. The study emphasizes that renewable energy strategies align economic growth with environmental sustainability, and shows that this is especially evident in energy-intensive sectors. How countries that prioritize environmental sustainability, such as Costa Rica, achieve a balance between economic development and environmental protection is presented as an essential example to understand the effects of energy policies on development. In conclusion, while electricity consumption is an essential component of economic growth, sustainable energy policies can change the nature of this relationship. This study provides essential findings to understand the impact of energy policies on economic growth and how energy use can be optimized within the framework of sustainable development goals.

Keywords: Sustainability, electricity consumption, economic growth.

DENİZ YOSUNU BAZLI ELYAFLARDAN İPLİK ÜRETİMİ: SÜRDÜRÜLEBİLİR TEKSTİLE DOĞRU BİR ADIM

YARN PRODUCTION FROM SEAWEED BASED FİBERS: A STEP TOWARDS SUSTAINABLE TEXTILES

Büşra Bozyer
Gaziantep University, Industrıal Engineer, Sanko Textile, Department of R&D, Project Engineer
ORCID ID: 0009-0007-5776-2486

Züleyha Değirmenci
Prof. Dr., Gaziantep University, Faculty of Engineering, Department Of Textile Engineering (English), Department Of Textile Science
ORCID ID: 0000-0002-8669-4968

Cansu Batcık
Gazi University, Industrial Engineer with an MSc from Çukurova University, Sanko Textile, Department of R&D, Chief of R&D
ORCID ID: 0000-0002-1400-5852

ÖZET

Tekstil endüstrisi, çevresel etkileri azaltmak ve döngüsel ekonomiye uyum sağlamak amacıyla biyobazlı malzemelere yönelmektedir. Deniz yosunu bazlı elyaflar, yenilenebilir kaynaklardan üretilmesi, biyobozunurluğu ve fonksiyonel özellikleri ile sürdürülebilir tekstil üretimi için güçlü bir aday olarak görülmektedir. Ancak, bu elyafların eğirme süreçlerine entegrasyonu, mekanik performansı ve endüstriyel ölçekli uygulanabilirliği üzerine kapsamlı araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışmada, deniz yosunu bazlı elyafların iplik üretimi için uygulanabilirliğini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Literatürde yer alan çalışmalar ışığında, bu elyafların lif yapısı, eğirme teknikleriyle uyumluluğu, karışım oranları ve iplik mukavemeti gibi kritik parametreler incelenmiştir. Özellikle ring, rotor ve hava jetli eğirme sistemleri ile işlenebilirliği üzerine yapılan araştırmalar derlenmiş ve iplik kalitesini optimize etmek için öneriler sunulmuştur.

Sürdürülebilirlik açısından, deniz yosunu bazlı elyafların su tüketimini azaltma, karbon ayak izini düşürme ve biyobozunur tekstil ürünleri üretme potansiyeli ele alınmıştır. Bu malzemenin fonksiyonel tekstil uygulamalarındaki yeri tartışılarak tıbbi tekstiller, spor giyim ve hızlı çözünebilir biyotekstil ürünleri gibi alanlardaki kullanımı değerlendirilmiştir. Ayrıca, bu elyafların pamuğa ve selülozik liflere alternatif olarak tekstil sanayisine entegrasyonu için karşılaşılabilecek teknik zorluklar ve çözüm önerileri sunulmuştur.

Sonuç olarak, deniz yosunu bazlı ipliklerin endüstriyel üretime adaptasyonu için yapılması gereken optimizasyonlar belirlenmiş, sürdürülebilir tekstil üretimi açısından sağladığı fırsatlar ortaya konulmuştur. Bu çalışma, biyobazlı liflerin gelecekte tekstil sektöründe nasıl bir rol oynayabileceğine dair teorik bir çerçeve sunmakta ve uygulamaya yönelik yol haritası oluşturmayı amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Sürdürülebilirlik, deniz yosunu, biyobozunur elyaf, iplik eğirme, çevre dostu tekstil, karbon ayak izi azaltımı, fonksiyonel tekstiller, yenilenebilir kaynaklar

ABSTRACT

The textile industry is turning to biobased materials to reduce environmental impacts and adapt to the circular economy. Seaweed-based fibers are seen as a strong candidate for sustainable textile production due to their production from renewable resources, biodegradability and functional properties. However, extensive research is needed on the integration of these fibers into spinning processes, their mechanical performance and industrial scale applicability.

This study aims to evaluate the applicability of seaweed-based fibers for yarn production. In the light of the studies in the literature, critical parameters such as fiber structure, compatibility with spinning techniques, blend ratios and yarn strength of these fibers were examined. In particular, researches on the processability of ring, rotor and air-jet spinning systems are reviewed and recommendations are presented to optimize yarn quality.

In terms of sustainability, the potential of seaweed-based fibers to reduce water consumption, lower carbon footprint and produce biodegradable textiles is discussed. The place of this material in functional textile applications is discussed and its use in areas such as medical textiles, sportswear and biodegradable biotextiles is evaluated. In addition, technical challenges and solutions for the integration of these fibers into the textile industry as an alternative to cotton and cellulosic fibers are presented.

As a result, the optimizations that need to be made for the adaptation of seaweed-based yarns to industrial production have been determined and the opportunities they provide in terms of sustainable textile production have been revealed. This study provides a theoretical framework for how biobased fibers can play a role in the textile industry in the future and aims to create a roadmap for implementation.

Keywords: Sustainability, seaweed, biodegradable fiber, spinning, eco-friendly textiles, carbon footprint reduction, functional textiles, renewable resources

1. GİRİŞ

Tekstil endüstrisi, küresel çapta ikinci en fazla çevresel etkiye sahip sektörlerden biridir. Örneğin, 1 kg pamuk üretimi için yaklaşık 20.000 litre su gerekmektedir (Shen et al., 2010). Aynı zamanda sentetik elyaflar fosil yakıt temelli yapıları nedeniyle yüksek karbon salınımı oluşturur ve çevrede çözünmeden yıllarca kalabilir (Patel et al., 2022).

Bu durum, tekstil üreticilerini doğa dostu ve biyobozunur elyaflara yöneltmektedir. Deniz yosunu bazlı elyaflar, bu çerçevede umut vadeden yenilikçi bir alternatiftir. Bu çalışmada, söz konusu elyafların iplik üretimindeki uygulanabilirliği değerlendirilmektedir.

2. DENİZ YOSUNU ELYAFLARININ YAPISAL ÖZELLİKLERİ

Deniz yosunları, özellikle kırmızı ve kahverengi türleriyle alginat gibi biyopolimerler açısından zengindir (Mahdavi et al., 2014). Bu polimerler jelleşme özelliği sayesinde lif formuna dönüştürülebilir.

SeaCell™ gibi ticari elyaflar, alginat bazlı deniz yosunu içerikleriyle üretilmekte ve cilt dostu, antibakteriyel, nem düzenleyici, mineral açısından zengin lif özellikleri sunmaktadır (Lee et al., 2020; Zahari et al., 2021).

Deniz yosunu bazlı elyaflar, yapısal olarak selülozik liflere benzer özellikler taşımaktadır. Mikrofiber kalınlığında olan bu lifler, nem tutma kabiliyeti ve biyobozunur yapısıyla dikkat çeker. Ancak kısa lif boyları ve sınırlı mukavemet değerleri nedeniyle, genellikle diğer uzun liflerle karıştırılarak eğrilmeye uygundur (Niu et al., 2021; Lee et al., 2020). Lif yoğunluğu pamukla benzer düzeyde olup, lif yüzeyi doğal olarak pürüzlüdür.

Tablo 1. Deniz Yosunu Bazlı Elyafların Temel Fiziksel Özellikleri

Özellik	Ortalama Değer	Açıklama
Lif Çapı (µm)	12–20 µm	Mikrofiber kategorisinde
Lif Boyu (mm)	30–45 mm	Kısa stapel lif
Mukavemet (cN/tex)	10–18	Orta düzey
Uzama (%)	8–12	Esnekliği sınırlı
Nem Geri Kazanımı (%)	15–18	Selülozik liflere benzer nem yönetimi sağlar
Biyobozunurluk	100%	Doğada tamamen çözünür
Yoğunluk (g/cm³)	1.3–1.5	Pamuk ve viskon arası

Kaynaklar: Zahari et al., 2021; Niu et al., 2021; Lee et al., 2020; Singh et al., 2019; Wang et al., 2018; Mahdavi et al., 2014; Patel et al., 2022.

3. DENİZ YOSUNU ELYAFLARIN EĞİRME SÜREÇLERİNDE KULLANILABİLİRLİĞİ

Deniz yosunu bazlı liflerin eğrilmesi; kısa lif boyu, yüksek sürtünme katsayısı ve düşük mukavemet gibi nedenlerle doğrudan zordur (Niu et al., 2021). Bu yüzden pamuk, modal, Tencel™ gibi selülozik liflerle karışım iplikler halinde kullanılır (Wang et al., 2018).

En çok tercih edilen eğirme sistemleri:

- **Ring eğirme:** yüksek mukavemetli iplikler
- **Rotor eğirme:** karışım oranı yüksek iplikler
- **Hava jetli eğirme:** sınırlı başarı (Binns et al., 2016)

"Deniz yosunu lifleri, bazı eğirme sistemleriyle uyumlu olsa da teknik adaptasyonlara ihtiyaç duyulmaktadır."

Sistem	Deniz Yosunu	Pamuk	Polyester
Ring	3	5	4
Rotor	4	4	5
Air Jet	2	3	5

Tablo 2. Eğirme Sistemlerine Uygunluk Karşılaştırması (1: Zayıf – 5: Çok Uygun)

Kaynaklar: Binns et al., 2016; Wang et al., 2018; Niu et al., 2021.

4. DENİZ YOSUNU ELYAFLARININ SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK POTANSİYELİ

Deniz yosunu üretimi, karasal tarıma göre çok daha az kaynak tüketir:

- **Sulama, pestisit ve gübre gerektirmez**
- **Yetişirken CO_2 absorbe eder**
- **Tarım arazisi işgal etmez** (Hasselström et al., 2018)
- **Lif formunda doğada çözünebilir** (Duarte et al., 2017)

Bu özellikler, deniz yosununu sıfır atık politikası ve iklim dostu tekstil ürünleri için ideal hale getirir.

"Deniz yosunu, tarımda kullanılan geleneksel liflere göre su tüketimi açısından çarpıcı bir avantaja sahiptir. Aşağıdaki karşılaştırma bu farkı açıkça göstermektedir:"

Tablo 3. Elyaf Türlerine Göre Su Tüketimi (Litre / 1 kg Elyaf)

Elyaf Türü	Su Tüketimi (Litre)
Pamuk	20,000 L
Polyester	100–150 L
Deniz Yosunu	≈0 L

Kaynak: Shen, L., Worrell, E., & Patel, M. (2010). Environmental impact assessment of man-made cellulose fibres. Resources, Conservation and Recycling, 55(2), 260–274.

"Sadece üretim sürecinde değil, çevreye salınan karbon bakımından da deniz yosunu bazlı elyaflar çok daha çevre dostudur."

Tablo 4. Elyaf Türlerine Göre Karbon Ayak İzi (kg CO_2-eq / 1 kg Elyaf)

Elyaf Türü	Karbon Salınımı (kg CO_2-eq)
Polyester	~9.5
Pamuk	~2.1
Deniz Yosunu	~0.6 (örnek/hipotetik)

Kaynak: Patel, D., Sharma, M., & Trivedi, M. (2022). Biodegradable fibers in sustainable textiles: A review. Journal of Cleaner Production, 338, 130447. Deniz yosunu verisi literatürde sınırlı olduğundan tahmini alınmıştır.

5. TEKNİK ZORLUKLAR VE OPTİMİZASYON YAKLAŞIMLARI

Tablo 5. Deniz Yosunu Elyaflarının Eğirme Sürecindeki Zorluklar ve Önerilen Çözümler

Zorluk	Çözüm
Kısa lif yapısı	Uzun liflerle karıştırma (pamuk, viskon)
Yüzey pürüzlülüğü	Yüzey modifikasyonu
Statik elektrik	Enzimatik ön işlemler
Zayıf mukavemet	Mikrokapsülleme, biyo-esnekleştirici kullanımı (Singh et al., 2019)

Kaynak: Niu et al., 2021; Wang et al., 2018; Singh et al., 2019.

Bu çözümlerle birlikte, deniz yosununa yönelik yeni nesil fonksiyonel uygulamalar da mümkün hale gelmektedir (örneğin: UV koruma, antioksidan salımı).

6. UYGULAMA ALANLARI VE GELECEK VİZYONU

Deniz yosunu bazlı liflerin kullanım alanları genişlemektedir:

- **Tıbbi tekstiller**: yara örtüleri, bandajlar
- **Fonksiyonel giysiler**: spor giyim, iç çamaşırı
- **Çevre dostu moda koleksiyonları**
- **Ambalaj, biyoçözünür teknik tekstiller**

Gelecekte, AB Yeşil Mutabakatı gibi düzenlemeler çerçevesinde karbon ayak izine duyarlı üretim modelinde, bu liflerin stratejik önemi daha da artacaktır.

"Deniz yosunu lifleri, sürdürülebilirlik parametreleri dışında işlevsel açıdan da dikkat çekici avantajlara sahiptir."

Tablo 6. Elyaf Özellikleri Karşılaştırması

Özellik	Deniz Yosunu	Pamuk	Polyester
Biyobozunurluk	✔	✔	✖
Lif Uzunluğu	⊖	✔	✔
Antibakteriyel Etki	✔	⊖	⊖
Mineral İçeriği	✔	⊖	⊖
CO_2 Absorpsiyonu	✔	⊖	✖

Kaynaklar: Lee et al., 2020; Zahari et al., 2021; Mahdavi et al., 2014; Duarte et al., 2017.

7. SONUÇ

Deniz yosunu bazlı lifler, sürdürülebilir tekstil üretimi için hem çevresel hem teknik anlamda potansiyel sunmaktadır. Ancak bu potansiyelin gerçekleştirilmesi için:

- Eğirme süreçlerinin optimizasyonu,
- Karışım tekniklerinin standardizasyonu,
- Endüstriyel üretim ölçeğine geçişönemli adımlardır.

Bu çalışma, gelecekte deniz yosunundan elde edilen elyafların yaygın kullanımını mümkün kılacak bilimsel ve teknik bir zemin oluşturmayı hedeflemektedir.

KAYNAKÇA

- Binns, H., Zhao, H., & Jones, I. (2016). Blending techniques for sustainable fiber development. *Journal of Textile Engineering*, 62(4), 201–209.
- Duarte, C. M., Wu, J., Xiao, X., Bruhn, A., & Krause-Jensen, D. (2017). Can seaweed farming play a role in climate change mitigation and adaptation? *Frontiers in Marine Science*, 4, 100.
- Hasselström, L., Gröndahl, F., Nylund, G. M., et al. (2018). The impact of seaweed cultivation on ecosystem services. *Marine Pollution Bulletin*, 133, 53–64.
- Lee, S. H., Choi, Y., & Kim, Y. (2020). Development of antibacterial and skin-soothing textiles using alginate-based fibers. *Journal of Industrial Textiles*, 50(1), 67–82.
- Mahdavi, M., Bahrami, H., & Tavasoli, S. (2014). Extraction and physicochemical characterization of alginate from brown seaweed. *Iranian Polymer Journal*, 23(7), 551–560.
- Niu, H., Tan, S., & Zhang, J. (2021). Mechanical and frictional behavior of seaweed-derived regenerated fibers. *Fibers and Polymers*, 22(8), 1847–1855.

- Patel, D., Sharma, M., & Trivedi, M. (2022). Biodegradable fibers in sustainable textiles: A review. *Journal of Cleaner Production*, 338, 130447.
- Shen, L., Worrell, E., & Patel, M. (2010). Environmental impact assessment of man-made cellulose fibres. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(2), 260–274.
- Singh, A., Kapoor, A., & Ray, S. S. (2019). Enhancing spinnability of biofibers using enzymatic and chemical surface treatments. *Carbohydrate Polymers*, 210, 14–22.
- Wang, X., Wang, J., & Zhang, M. (2018). Seaweed fiber blending with cotton for sustainable yarn production. *Textile Research Journal*, 88(17), 2007–2015.
- Zahari, M. W., Noor, M. N. A. M., & Saad, W. Z. (2021). Seaweed-based fibers for functional textile applications: A review. *Materials Today: Proceedings*, 39, 2290–2295.

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE RÖLYEF KULLANIMININ YÜZEY KUSURLARINI GİDERME VE ÜRETİM SÜRECİNE ETKİSİ

THE EFFECT OF RELIEF APPLICATION ON SURFACE DEFECT REDUCTION AND THE PRODUCTION PROCESS IN CERAMIC SANITARY WARE

Fatih Şen
Çanakcılar Seramik San. ve Tic. A.Ş.
ORCID ID: 0009-0004-5841-1619

Reyhan Yıldırım Badurluoğlu
Çanakcılar Seramik San. ve Tic. A.Ş.
ORCID ID: 0009-0009-3863-8089

Kemal Atay
Çanakcılar Seramik San. ve Tic. A.Ş.
ORCID ID: 0009-0008-6880-591X

Fatih Çalışkan
Prof. Dr., Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı
Prof. Dr., Sakarya University of Applied Sciences, Faculty of Technology, Department of Metallurgical and Materials Engineering
ORCID ID: 0000-0002-9568-7049

ÖZET

Seramik Sağlık Gereçleri grubu ürünlerinin üretim sürecinde, üretim aşamalarından kaynaklı olarak ürün yüzeylerinde deformasyonların oluşması mümkündür. Özellikle kurutma, rötuş ve pişirme aşamalarında meydana gelebilecek yüzey kusurları (damar, çökme vb.), üretim fire oranını artırarak hem maliyetleri yükseltmekte hem de üretim verimliliğini düşürmektedir. Deneme dökümleri tamamlanan ürünler kurutulup rötuş işlemlerine alınırken, bu aşamalarda oluşan deformasyonlar kalite standartlarını doğrudan etkilemektedir. Üretim sürecinde yaşanan bu deformasyonların kontrol altına alınması ve fire oranlarının azaltılması, üretim verimliliğini artırmak, sürdürülebilirliği sağlamak ve kalite kontrol süreçlerini iyileştirmek açısından büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, rölyef uygulamasının lavabo ve klozet dış yüzeylerinde kullanımı ile üretimden kaynaklanan firelerin azaltılması hedeflenmiştir. Rölyef tasarım süreci, ürünün kalıp çıkma açıları dikkate alınarak geliştirilmiştir. Ürün yüzeyine uygulanacak rölyef taslakları oluşturulmuş, bu tasarım kalıba entegre edilerek kalıp yüzeyinde de işlenmiştir. Bu yöntem sayesinde, ürün yüzeyindeki olası deformasyonların rölyef desenleriyle daha az belirgin hale gelmesi amaçlanmaktadır.

Rölyef uygulamasının hem estetik hem de işlevsel açıdan üretime katkı sağlaması hedeflenmiştir. Üretim sürecinde oluşan deformasyonların rölyef deseni ile maskelenmesi, ürünlerin görsel bütünlüğünü koruyarak müşteri memnuniyetini artıracaktır. Aynı zamanda bu yaklaşım, üretim sırasında artan detay işçiliği ile ürünün katma değerini ön plana çıkaracaktır.

Uygulamanın, fire oranlarını düşürerek üretim maliyetlerini azaltacağı, aynı zamanda kullanıcılar için tasarımsal farklılık yaratarak ürünlere yeni bir kimlik kazandıracağı öngörülmektedir. Üretim süreçlerinde kaliteyi artıran, malzeme israfını minimize eden ve sürdürülebilir üretim modeline katkı sağlayan bu yöntem, seramik vitrifiye sektörü için verimli ve yenilikçi bir çözüm önerisi sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Seramik, Seramik Sağlık Gereçleri, Rölyef, Kalite

ABSTRACT

In the production process of sanitary ware group products, surface deformations may occur due to manufacturing stages. Remarkably, surface defects such as damages, shrinkage, and dents can emerge during drying, retouching, and firing, increasing production waste rates, elevating costs, and reducing overall production efficiency. Once the trial castings are completed, products undergo drying and retouching; deformations in these stages directly affect compliance with quality standards. Managing these deformations and minimizing waste rates during manufacturing is crucial for enhancing production efficiency, ensuring sustainability, and improving quality control processes.

This study proposes a solution to reduce production-induced defects by applying relief design to the exterior surfaces of washbasins and closets. The relief design process has been developed by considering mold release angles. Relief patterns have been designed for the product surface and integrated into the mold. Thanks to this approach, the focus has been on minimizing the visibility of potential surface deformations by incorporating relief patterns.

The rendering of relief design is expected to contribute to the production's aesthetic and functional aspects. Masking deformations with relief patterns will preserve the visual integrity of the products, ultimately enhancing customer satisfaction. Moreover, this approach emphasizes the product's significance by increasing the detailed craftsmanship required in production.

This method is anticipated to reduce waste rates, lower production costs, and introduce a new design identity to the products by offering distinctive visual characteristics for users. By improving overall quality, minimizing material waste, and supporting a sustainable production model, this technique presents an efficient and innovative solution for the ceramic sanitary ware industry.

Keywords: Ceramic, Sanitary Ware, Relief, Quality.

RENKLİ SIRLARDA KULLANILAN BOYALARIN BİRİNCİ VE İKİNCİ PİŞİRİM STABİLİTELERİNİN İNCELENMESİ

STABILITY OF PIGMENTS USED IN COLORED GLAZES DURING FIRST AND SECOND FIRING

İrem ALTINOK
Çanakcılar Seramik San. ve Tic. A.Ş. R&D Center
ORCID NO: 0000-0001-9217-6502

Fatih ÇALIŞKAN
Prof. Dr., Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği
ORCID NO: 0000-0002-9568-7049

ÖZET

Seramik üretiminde renkli sırlar, estetik ve fonksiyonel özellikleri açısından büyük önem taşımaktadır. Ancak, pişirim süreci sırasında renk stabilitesi, yüzey pürüzlülüğü ve parlaklık gibi faktörler değişime uğrayabilmektedir. Bu çalışmada, farklı renklerde boyalar içeren sırların birinci ve ikinci pişirim süreçlerindeki davranışları incelenerek, yüzey pürüzlülüğü, renk ve parlaklık değişimlerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Çalışma, seramik endüstrisinde kullanılan boyaların pişirim stabilitesinin belirlenmesine katkı sağlayarak, sıcaklıkla değişmeyen daha kontrollü renk değerleri ve öngörülebilir üretim süreçlerinin geliştirilmesine yardımcı olmayı hedeflemektedir. Deneysel çalışmalarda, baz sır formülasyonu kullanılarak %3 oranında farklı renkte boyalar eklenmiş ve sır formülasyonları oluşturulmuştur. Hazırlanan sırlar plaka, halka sır akması ve yüzey pürüzlülüğü testlerine tabi tutulmuş ve tünel fırında pişirilmiştir. Birinci pişirim sonrasında renk (L, a, b), parlaklık (gloss), sır akma boyu ve yüzey pürüzlülüğü ölçümleri yapılmıştır. İkinci pişirim için numuneler kamara fırınına verilerek, pişirim sonrası renk değişimi, parlaklık ve yüzey pürüzlülüğü analiz edilmiştir. Her bir boya için değerler tek tek incelenmiştir. İncelemeler sonucunda bazı boyaların parlaklık değerini aşırı yükselttiği görülürken bazı boyalar ise daha stabil davranmıştır. Özellikle kırmızı boya denemelerinde ilk pişirimden çıkan sonuçlara göre yüzey pürüzlülüğünün çok fazla olduğu, ikinci pişirim sonrası pürüzlülük değerinin azaldığı görülmektedir. Boyalardan en dikkat çeken sonuç kobalt mavi renginde görülmüştür. özellikle beyaz sırda kullanılan ve düşük oranlarda bile yoğun renk veren kobalt maviden stabil davranan boya olarak gözlenmiştir. Özellikle L, a, b ve parlaklık değerleri incelendiğinde kayda değer bir değişim gözlenmemiştir. Bu sonuçlar, renkli sır uygulamalarında kullanılacak boyaların pişirim stabilitelerinin detaylı olarak değerlendirilmesini sağlamış ve seramik üretim süreçlerinde önemli bir rehber niteliği taşımaktadır. Boyaların renk ve parlaklık değişimleri, pişirim sıcaklıkları ve süreleri göz önünde bulundurularak optimizasyon çalışmaları önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Renkli Sır, Boya Stabilitesi, Pişirim Etkileri.

ABSTRACT

Coloured glazes in ceramic production are important in their aesthetic and functional properties. However, Factors such as colour stability, surface roughness, and gloss may change during the firing process. This study aims to examine the behaviour of glazes containing different coloured pigments during the first and second firing processes, evaluating changes in surface roughness, colour, and gloss. The study aims to contribute to determining the firing stability of pigments used in the ceramic industry, helping to develop more controlled colour values that remain stable under high temperatures and more predictable production processes. In the experimental studies, different coloured pigments were added at a 3% ratio using a base glaze formulation to create various glaze compositions. The prepared glazes were subjected to plate, ring flow, and surface roughness tests and then fired in a tunnel kiln. After the first firing, measurements of colour (L, a, b), gloss, glaze flow length, and surface roughness were conducted. For the second firing, the samples were placed in a chamber kiln, and post-firing analyses of colour change, gloss, and surface roughness were carried out. The values for each pigment were examined individually. The results indicated that some pigments significantly increased gloss values, while others displayed more stable behaviour. In particular, the findings from the red pigment trials showed that the surface roughness was very high after the first firing, but the roughness value decreased after the second firing. The most notable result among the pigments was observed in cobalt blue. Specifically, cobalt blue, which is commonly used in white glazes and produces an intense colour even at low concentrations, was identified as a stable pigment. Particularly, when analysing the L, a, b, and gloss values, there was no significant change. These results offer a comprehensive evaluation of the firing stabilities of pigments employed in coloured glaze applications and act as a significant guide for ceramic production processes. It is advisable to conduct optimisation studies that take into account the changes in colour and gloss of the pigments concerning firing temperatures and durations.

Keywords: Coloured Glaze, Pigment Stability, Firing Effects.

1. GİRİŞ

Seramik sağlık gereçleri, hijyenin ön planda tutulduğu mekanlarda kullanılan, camsı yüzeyli, düşük poroziteli ve yüksek mekanik ile kimyasal dayanıklılığa sahip ürünlerdir. Bu ürünler arasında klozet, lavabo ve pisuar gibi günlük yaşamda yaygın biçimde kullanılan ürünler yer almaktadır (Kingery ve ark., 1976). Söz konusu ürünlerde yalnızca fonksiyonellik değil, estetik görünüm de önemlidir. Bu bağlamda, renkli sırlar seramik yüzeylere hem görsellik hem de fonksiyonel katkı sağlamaktadır (Barsoum, 2003).

Ancak seramik sırlarının yüksek sıcaklıklarda pişirilmesi sırasında bazı istenmeyen değişiklikler meydana gelebilmektedir. Özellikle pigment içeren renkli sırların pişirim

süreçlerinde renk kaymaları, parlaklık farklılıkları ve yüzey pürüzlülüğünde değişiklikler gözlemlenebilmektedir. Bu durum, üretim sürecinde kalite kontrolünü ve ürün sürekliliğini olumsuz etkileyebilmektedir (Reed, 1995). Bu nedenle, pigmentlerin termal stabilitelerinin değerlendirilmesi, doğru pigment seçimi açısından kritik önem taşımaktadır.

Seramik endüstrisinde pigmentlerin stabilitesini etkileyen faktörler şu şekilde sıralanabilir (Reed, 1995, Carter, 2007):

Yüksek sıcaklığa maruziyet etkisi: Metal oksit esaslı pigmentler yüksek sıcaklıklara daha dayanıklı olsalar da uzun süre yüksek sıcaklıklara maruz kaldıklarında yüzey bozulmalarına ve renk değişimlerine neden olabilmektedir.

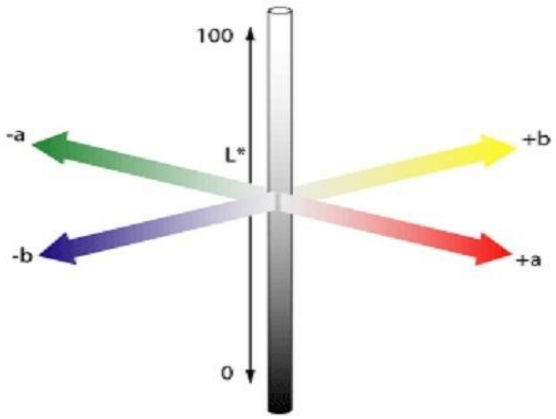
Oksidasyon ve redüksiyon tepkimeleri: Pişirme atmosferine bağlı olarak pigmentler okside olabilir veya indirgenebilir, bu da renk değişikliğine neden olabilir.

Yüzey kalitesine etki: Pigmentlerin sır matrisi içerisindeki çözünürlüğü ve dağılım homojenliği yüzey kalitesini etkiler

Bu çalışmada, farklı pigmentler içeren sırların birinci ve ikinci pişirim süreçlerinde gösterdiği davranışlar analiz edilmiştir. Amaç; renk, parlaklık ve yüzey pürüzlülüğü gibi kriterler üzerinden pişirim stabilitesini belirlemek ve bu doğrultuda seramik endüstrisinde daha kontrollü üretim süreçlerine katkı sağlamaktır.

2. YÖNTEM

Çalışmada temel sır formülasyonu esas alınarak hazırlanan baz sır içerisine %3 oranında farklı pigmentler eklenmiştir. Bu pigmentler; kimyasal içerikleri itibariyle farklı metal oksitleri içermekte olup, genellikle seramik endüstrisinde kullanılan Cr, Co, Fe ve Ni bazlı inorganik pigmentlerdir. Hazırlanan sır örnekleri seramik yüzeylere uygulanarak plaka testi, halka testi ve sır akma testi gibi standart analiz yöntemlerine tabi tutulmuştur. Numuneler, endüstride yaygın olarak kullanılan tünel fırında birinci pişirime alınmış, ardından L*a*b* renk ölçümleri, parlaklık analizi (gloss metre ile) ve sır akma boyu ölçümleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. L, a, b değerlerinin açısal gösterimi (Hyon, 2005)

İlk pişirimden sonra, örnekler ikinci pişirime alınmış ve bu süreç sonrasında yüzey pürüzlülüğü (Ra değeri ile), ΔE renk farkı ve parlaklık değişimi yeniden analiz edilmiştir. Tüm veriler karşılaştırmalı olarak incelenmiş ve pigmentlerin pişirim stabiliteleri değerlendirilmiştir.

Tablo 1. Renkli Sırlara Ait Reçete Formülasyonu

REÇETE	
HAMMADDELER	**BAZ**
Feldspat	33
Kuvars	22
Kaolen	9
Mikronize Hammaddeler	36
Pigment	3

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Elde edilen bulgular, pigmentlerin pişirim stabilitelerinin içerdiği metal oksit türlerine göre belirgin farklılıklar gösterdiğini ortaya koymuştur. Krom (Cr), kobalt (Co), demir (Fe) ve nikel (Ni) gibi geçiş metali oksitlerini içeren pigmentlerin, birinci ve ikinci pişirim süreçlerinde renk, parlaklık ve yüzey özelliklerini büyük ölçüde koruduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 2. Pigmentlerin İçerdiği Metal Oksitler

PİGMENT RENGİ	**KİMYASAL İÇERİK**			
Siyah	Co	Fe	Cr	Ni
Sarı	Pr	Si	Zr	
Kırmızı	Cd	Si	Zr	Se
Kobalt Mavi	Co	Al		
Turkuaz	Zr	Si	V	
Koral	Zr	Fe	Si	

Özellikle Cr_2O_3 bazlı pigmentlerin, yüksek sıcaklıklarda renk değişimine karşı oldukça dirençli olduğu ve ikinci pişirim sonrasında dahi ΔE değerlerinin düşük kaldığı belirlenmiştir. Bu durum, Cr içeren pigmentlerin yüksek termal stabiliteye sahip kristal yapılarıyla ilişkilidir (Reed, 1995; Vazquez ve ark., 2013). Benzer şekilde, CoO içeren pigmentlerde de hem birinci hem de ikinci pişirim sonrasında parlaklık değerlerinin büyük ölçüde korunduğu ve renk kaymalarının minimum düzeyde olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 3. Farklı Pigment İçerikli Sırların Parlaklık ve Yüzey Pürüzlülük Ölçümleri

%3 Sarı Pigment Katkılı Sır	**Fırın Sıcaklığı (◦C)**	**Ra**	**Rz**	**Rmax**	**Gloss**
Tünel Fırın	1213	1,607	15,166	21,084	21,38
Optimal Fırın	1183	1,127	13,243	18,154	37,9
%3 Siyah Pigment Katkılı Sır	**Fırın Sıcaklığı (◦C)**	**Ra**	**Rz**	**Rmax**	**Gloss**
Tünel Fırın	1213	2,151	11,354	16,272	11,07
Optimal Fırın	1183	1,657	9,824	14,321	14,29
%3 Kırmızı Pigment Katkılı Sır	**Fırın Sıcaklığı (◦C)**	**Ra**	**Rz**	**Rmax**	**Gloss**
Tünel Fırın	1213	3,412	28,567	42,836	13,32
Optimal Fırın	1183	2,961	26,278	38,322	17,01
%3 Kobalt Mavi Pigment Katkılı Sır	**Fırın Sıcaklığı (◦C)**	**Ra**	**Rz**	**Rmax**	**Gloss**
Tünel Fırın	1213	1,595	11,412	13,242	4,57
Optimal Fırın	1183	1,635	11,798	14,844	3,8
%3 Turkuaz Pigment Katkılı Sır	**Fırın Sıcaklığı (◦C)**	**Ra**	**Rz**	**Rmax**	**Gloss**
Tünel Fırın	1213	1,098	7,892	12,761	24,48
Optimal Fırın	1183	1,137	8,536	13,19	23,89
%3 Koral Pigment Katkılı Sır	**Fırın Sıcaklığı (◦C)**	**Ra**	**Rz**	**Rmax**	**Gloss**
Tünel Fırın	1213	1,216	10,676	20,855	26,39
Optimal Fırın	1183	0,871	8,418	15,794	21,22

Kobalt oksitler, camsı faz içerisindeki çözünürlüğü düşük olması nedeniyle yapıyı bozmaz ve stabil renk oluşumunu destekler (Höland ve Beall, 2012). Demir (Fe_2O_3) bazlı pigmentler ise oksidatif ortamlarda pişirildiğinde stabil renkler sağlayabilmektedir; ancak bazı durumlarda oksidasyon derecesine bağlı olarak renk tonlarında hafif sapmalar yaşanabilmektedir (Kingery ve ark., 1976).



Şekil 2. %3 Pigment Eklenerek Hazırlanan Sırlara Ait Plaka Görselleri

Nikel (NiO) bazlı pigmentlerde ise ikinci pişirim sonrasında belirli renk gruplarında küçük ΔE değişimleri görülse de genel olarak yüksek sıcaklıktaki renk stabilitesi korunmuştur. Bununla birlikte, Ni içeren pigmentlerde yüzey pürüzlülüğünün arttığı bazı örneklerde gözlemlenmiştir. Bu durum, metal oksit partikül boyutu ve sır matrisindeki dağılım ile ilişkili olabilir. Tüm bu bulgular, geçiş metallerinin oksit formlarının seramik pigmentlerinde stabil renk ve yüzey özellikleri elde edilmesine olanak tanıdığını göstermektedir. Bu pigmentler, camsı sır fazı içerisinde çözünmeden, kristal yapılarını koruyarak estetik ve fiziksel performansın sürekliliğini sağlarlar (Barsoum, 2003).

SONUÇ

Bu çalışmada farklı metal oksit içeren pigmentlerin birinci ve ikinci pişirim stabiliteleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, özellikle Cr, Co ve Fe oksit bazlı pigmentlerin yüksek sıcaklık koşullarında renk, parlaklık ve yüzey özelliklerini koruma açısından oldukça stabil olduğunu ortaya koymuştur. Krom oksitler, ΔE değerinin düşük kalmasıyla ön plana çıkarken, kobalt oksitler parlaklık değerini koruma konusunda başarılı bulunmuştur. Demir ve nikel bazlı pigmentler ise genel olarak kabul edilebilir stabilite göstermiştir. Pigmentin içerdiği metal oksit türü, pişirim sürecinde yapısal dönüşüm göstermediği sürece, nihai ürünün estetik ve fiziksel özelliklerinin sürekliliği üzerinde belirleyici rol oynamaktadır. Bu nedenle seramik sağlık gereçleri üretiminde, renkli sır tasarımında kullanılacak pigmentler seçilirken metal oksit bazlı bileşiklerin pişirim davranışları dikkate alınmalıdır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Çanakcılar Seramik San. ve Tic. A.Ş. tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

Barsoum, M. W. 2003. *Fundamentals of Ceramics*. Taylor & Francis.

Carter, C. B. Grant Norton, M. G. 2007 *Ceramic Materials: Science and Engineering*, Springer New York.

Höland, W., & Beall, G. H. 2012. *Glass-Ceramic Technology* (2nd ed.). Wiley. Hyon, J. Y., Lee, J. H. Wee, W. R. (2005) *Shift of Colorimetric Values in Ishihara Pseudoisochromatic Plates with Plate Aging*, Korean Journal of Ophthalmology 19(2):145-8

Kingery, W. D., Bowen, H. K., & Uhlmann, D. R. 1976. *Introduction to Ceramics* (2nd ed.). Wiley-Interscience.

Reed, J. S. 1995. *Principles of Ceramics Processing* (2nd ed.). Wiley.

Vazquez, A. J., Mesa, J. L., & Romero, M. 2013. *Stability of Ceramic Pigments during Glaze Firing: Effects on Color and Surface Quality*. *Journal of the European Ceramic Society*, 33(15-16), 2905–2911.

Rao, C. N. R., Gopalakrishnan, J., & Cheetham, A. K. 2010. *Inorganic Materials Chemistry*. Springer.

EXPERIMENTAL MEASUREMENT AND MODELING OF THE REFRACTIVE INDEX FOR THE TERNARY MIXTURE PROPAN-1-OL + CYCLOHEXANE + BENZENE AT 298.15 K AND ATMOSPHERIC PRESSURE

Arbër Zeqiraj
Department of Physics Engineering, Polytechnic University of Tirana, Albania
Department of Materials and Metallurgy, University "Isa Boletini" Mitrovica, Kosova

Altin Gjevori
Department of Physics Engineering, Polytechnic University of Tirana, Albania

Artan Llozana
Department of Physics Engineering, Polytechnic University of Tirana, Albania

Naim Syla
Department of Physics, FMNS, University of Pristina "Hasan Prishtina", Pristina, Kosova

Fisnik Aliaj
Department of Physics, FMNS, University of Pristina "Hasan Prishtina", Pristina, Kosova

ABSTRACT

The refractive index (n) of the ternary system propan-1-ol + cyclohexane + benzene has been experimentally measured at a constant temperature of 298.15 K and local atmospheric pressure. The study covers the entire molar fraction range to provide comprehensive data for this system. Additionally, refractive index values were determined for the corresponding binary subsystems: propan-1-ol + cyclohexane, propan-1-ol + benzene, and cyclohexane + benzene. The collected experimental data were analyzed to determine deviations in the refractive index, which provide insights into the non-ideal behavior of the mixtures.

To mathematically correlate these deviations for the binary mixtures, Redlich-Kister polynomials were applied. For the ternary system, the Cibulka equation was employed as a predictive model. In addition to experimental measurements, several theoretical models were used to estimate the refractive index of the mixtures, including the Gladstone-Dale (G-D), Lorentz-Lorentz (L-L), Newton (N), and Eyring and John (E-J) models. These models were assessed based on their predictive accuracy.

To quantify the reliability of each model, the average percentage deviation (APD) was calculated, providing a comparative measure of model performance. The results offer valuable information for understanding the optical properties of the studied system and contribute to the development of more accurate predictive models for refractive index calculations in ternary liquid mixtures.

Keywords: 1-propanol, Benzene, Cyclohexane, Redlich-Kister polynomial, Cibulka equation

INTRODUCTION

In this paper, we present, for the first time, the deviations of the refractive index for binary and ternary mixtures of liquids, building upon our ongoing work [1] - [9]. According to the literature, there is insufficient data regarding the refractive index for the binary mixture of propan-1-ol + cyclohexane, and limited data is also available for the system propan-1-ol + benzene [10]. In contrast, a considerable number of studies have been conducted on the system cyclohexane + benzene [11], [12]. The experimental data were employed to calculate the refractive index deviations across the entire range of mole fractions, which is of particular interest for studying molecular interactions. The Redlich-Kister equation has been used to correlate the deviation in the refractive index of binary systems, while the Cibulka equation has been used to correlate the deviation in the refractive index of ternary system. Furthermore, several theoretical and empirical models have been applied to predict the refractive index.

MATERIALS AND METHOD

The chemical substances used in this study were propan-1-ol (≥99.5%, Sigma-Aldrich), cyclohexane (≥99.5%, Lach-Ner), and benzene (≥99.9%, Fluka). These chemicals were employed without further purification. The purity of the substances was verified by measuring their density and refractive indices at 298.15 K, and comparing the results with literature values. For the preparation of molar fractions, the masses of the substances were determined using an analytical balance (KERN & Sohn GmbH, model 220-4N) with a resolution of ±0.1 mg. The standard deviation in molar fractions was found to be better than ±0.0001. The density was measured using the Anton Paar model 5000M device. Refractive indices were measured with an Abbe refractometer, which has an accuracy of ±0.0002. The temperature of the experimental liquids was maintained within ±0.04 K by circulating water through the prisms of the refractometer using a circulating pump.

RESULTS AND DISCUSSION

The refractive index deviation can be calculated using the folloing formula:

$$\Delta n = n_{exp} - \sum_i \varphi_i n_i$$

where n_{exp} is the refractive index of the mixture, n_i is the refractive index of the pure component *i* and φ_i is the volume fraction of the pure component liquid *i*.

The volume fractions were calculated using the following formula:

$$\varphi_i = \frac{x_i M_i \rho_i^{-1}}{\sum_j x_j M_j \rho_i^{-1}}$$

where x_i is the mole fraction, M_i is the molar mass, ρ_i is the density of pure component *i*.

The refractive index deviations are presented in table 1-3 for the binary mixtures propan-1-ol + cyclohexane, propan-1-ol + benzene, and cyclohexane + benzene. These data have been correlated using the Redlich-Kister polynomials

$$\Delta n = x_1(1-x_1)\sum_{p=0}^{n} A_p\,(2x_1-1)^p \qquad (1)$$

were x_1 is the mole fraction of component 1. To determine the number of Redlich-Kister coefficients (A_p) the method of least squares was used. The number of these parameters was optimized by applying the *F*-test at a 0.01 significance level.

The refractive index deviations for the ternary system propan-1-ol + cyclohexane + benzene was correlated using the equation proposed by Cibulka

$$\Delta n_{123} = \sum_{i=1}^{3}\sum_{j>i}\Delta n_{ij} + x_1x_2(1-x_1-x_2)(C_0 + C_1x_1 + C_2x_2) \qquad (2)$$

where Δn_{123} refers to the refractive index deviations of the ternary mixture, and Δn_{ij} represent the binary contribution of each *i* – *j* pair, calculated using eq (1) with coefficients given in Table1. The Cibulka coefficients, C_0, C_1, and C_2, along with the standard deviations of fitting σ are summarized in table 6. The correlated values show agreement with the experimental data.

As predictive models – mixing ruels for the refractive index, the Gladstone-Dale (G-D), Lorentz-Lorentz (L-L), Newton (N), and Eyring and John (E-J) models are utilized.

Gladstone – Dale (G-D): $n-1 = (n_1-1)\phi_1 + (n_2-1)\phi_2$

Lorentz – Lorentz (L-L): $\frac{n^2-1}{n^2+2} = \left(\frac{n_1^2-1}{n_1^2+2}\right)\phi_1 + \left(\frac{n_2^2-1}{n_2^2+2}\right)\phi_2$

Newton (N): $n^2-1 = (n_1^2-1)\,\phi_1 + (n_2^2-1)\,\phi_2$

Eyring and John (E-J): $n = n_1\phi_1^2 + 2\sqrt{n_1n_2}\phi_1\phi_2 + n_2\phi_2^2$

Binary systems

Table 1**.** Refractive index, refractive index deviations for the binary systems propan-1-ol + cyclohexane and average percentage deviation (APD) of mixing rules at temperature of 298.15 K and under local atmospheric pressure.

φ_1	EXP	10^{-3} Δn	%G-D	%L-L	%N	%E-J
0.0000	1.4234	-	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0347	1.4213	-0.7116	0.0501	0.0486	0.0515	0.0493
0.0715	1.4192	-1.2882	0.0908	0.0879	0.0936	0.0893
0.1455	1.4154	-2.0083	0.1419	0.1366	0.1472	0.1392
0.2245	1.4117	-2.4556	0.1740	0.1665	0.1814	0.1702
0.3145	1.4077	-2.6782	0.1903	0.1810	0.1996	0.1856
0.4088	1.4038	-2.6760	0.1906	0.1803	0.2011	0.1854
0.5095	1.3998	-2.5048	0.1789	0.1682	0.1898	0.1735
0.6173	1.3957	-2.1454	0.1537	0.1436	0.1641	0.1485

0.7346	1.3914	-1.5868	0.1140	0.1057	0.1227	0.1098
0.8612	1.3868	-0.9446	0.0681	0.0630	0.0734	0.0655
1.0000	1.3820	-	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Table 2**.** Refractive index, refractive index deviations for the binary systems propan-1-ol + benzene and average percentage deviation (APD) of mixing rules at temperature of 298.15 K and under local atmospheric pressure.

φ_1	EXP	10^{-3} Δn	%G-D	%L-L	%N	%E-J
0.0000	1.4980	-	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0413	1.4926	-0.6037	0.0404	0.0271	0.0524	0.0342
0.0840	1.4872	-1.0612	0.0714	0.0455	0.0947	0.0593
0.1749	1.4761	-1.6082	0.1089	0.0604	0.1535	0.0861
0.2637	1.4655	-1.9151	0.1307	0.0654	0.1914	0.0997
0.3592	1.4544	-1.9367	0.1332	0.0558	0.2062	0.0962
0.4573	1.4431	-1.8504	0.1282	0.0448	0.2083	0.0880
0.5572	1.4317	-1.6632	0.1162	0.0332	0.1970	0.0759
0.6635	1.4196	-1.4817	0.1044	0.0293	0.1788	0.0676
0.7711	1.4075	-1.0500	0.0746	0.0153	0.1345	0.0453
0.8257	1.4014	-0.8163	0.0583	0.0099	0.1075	0.0343
0.8830	1.3950	-0.5680	0.0407	0.0060	0.0764	0.0234
0.9407	1.3886	-0.2749	0.0198	0.0011	0.0392	0.0104
1.0000	1.3820	-	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Table 3**.** Refractive index, refractive index deviations for the binary systems cyclohexane + benzene and average percentage deviation (APD) of mixing rules at temperature of 298.15 K and under local atmospheric pressure.

φ_2	EXP	10^{-3} Δn	%G-D	%L-L	%N	%E-J
0.0000	1.4980	-	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.1193	1.4877	-1.4009	0.0942	0.0796	0.1074	0.0874
0.2350	1.4779	-2.5716	0.1740	0.1490	0.1969	0.1624
0.3389	1.4694	-3.3178	0.2258	0.1946	0.2546	0.2113
0.4527	1.4606	-3.6267	0.2483	0.2138	0.2805	0.2321
0.5553	1.4528	-3.7722	0.2597	0.2253	0.2921	0.2435
0.6531	1.4457	-3.5794	0.2476	0.2161	0.2777	0.2327
0.7358	1.4398	-3.3107	0.2299	0.2029	0.2560	0.2171
0.8274	1.4341	-2.1772	0.1518	0.1320	0.1711	0.1423
0.9161	1.4285	-1.1570	0.0810	0.0703	0.0915	0.0759
1.0000	1.4234	-	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

From figure 1, it can be observed that the refractive index deviations are negative for all three systems: propan-1-ol + cyclohexane, propan-1-ol + benzene, and cyclohexane + benzene. For the system propan-1-ol + cyclohexane, the minimum value of the refractive index deviation, -0.00268, occurs at a volume fraction of approximately 0.4. Similarly, for the system propan-1-ol + benzene, the minimum value of the refractive index deviation, -0.0019, is also observed around a volume fraction of 0.4. In contrast, for the system cyclohexane + benzene, the

minimum value of the refractive index deviation, -0.00377, is found at a volume fraction of approximately 0.55.

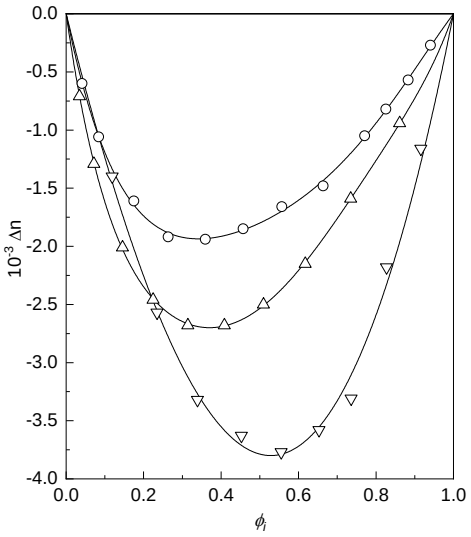


Figure. 1. Refractive index deviations Δ*n* for propan-1-ol + cyclohexane (△), propan-1-ol + benzene (○), and cyclohexane + benzene (▽) systems. Solid lines are the results calculated using equation 1.

Table 4**.** Redlich-Kister coefficients, A_p ,and standard deviations of the fitting, σ, for the refractive index deviations Δn of the studied binary mixtures at a temperature of 298.15 K.

Property	A_0	A_1	A_2	A_3	A_4	σ (Δn) x(10^{-5})
			Propan – 1 – ol + cyclohexane			
	-0.0101	0.0049	-0.0016	0.0021	-0.0045	1.1
Δn			Propan – 1 – ol + benzene			
	-0.0072	0.0031	-0.0033	0.0029		2.5
			Cyclohexane + benzene			
	-0.0152	-0.0018				10.6

Ternary system

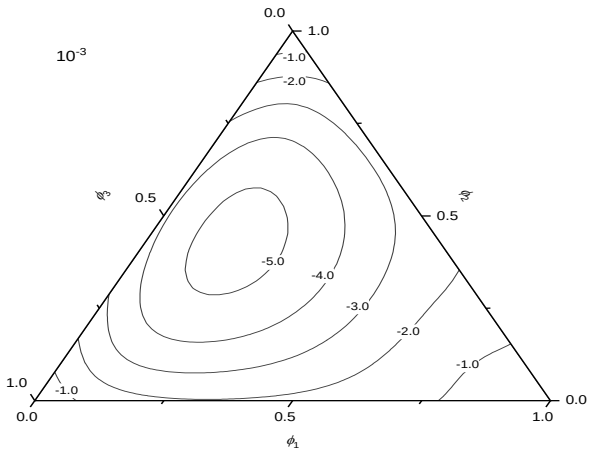


Figure 2. Isolines of the deviations in refractive index Δn of the ternary mixtures propan-1-ol + cyclohexane + benzene at 298.15 K calculated using Eq (2).

Table 5**.** Refractive index, refractive index deviations for the ternary systems propan-1-ol + cyclohexane + benzene and average percentage deviation (APD) of mixing rules at temperature of 298.15 K and under local atmospheric pressure.

φ_1	φ_2	EXP	10^{-3} Δn	%G-D	%L-L	%N
0.0827	0.1214	1.4767	-2.6462	0.1792	0.1432	0.2122
0.0813	0.2363	1.4670	-3.9423	0.2687	0.2268	0.3076
0.0833	0.3226	1.4591	-5.1690	0.3543	0.3097	0.3959
0.0781	0.4570	1.4495	-5.3478	0.3689	0.3256	0.4100
0.0776	0.5560	1.4425	-5.0219	0.3481	0.3083	0.3862
0.0779	0.6480	1.4358	-4.8215	0.3358	0.3017	0.3687
0.0748	0.7498	1.4294	-3.9919	0.2793	0.2541	0.3038
0.0726	0.8406	1.4237	-3.1680	0.2225	0.2076	0.2372
0.1698	0.1222	1.4659	-3.2881	0.2243	0.1709	0.2739
0.1651	0.2404	1.4561	-4.8137	0.3306	0.2759	0.3819
0.1631	0.3516	1.4476	-5.2456	0.3624	0.3095	0.4126
0.1582	0.4630	1.4399	-5.2082	0.3617	0.3139	0.4075
0.1434	0.5728	1.4339	-4.7322	0.3300	0.2901	0.3686
0.1522	0.6658	1.4262	-4.4840	0.3144	0.2838	0.3443
0.1518	0.7592	1.4201	-3.6571	0.2575	0.2386	0.2762
0.2596	0.1232	1.4549	-3.7944	0.2608	0.1949	0.3228
0.2535	0.2443	1.4458	-4.5674	0.3159	0.2533	0.3756
0.2384	0.3821	1.4370	-4.8367	0.3366	0.2820	0.3892
0.2418	0.4685	1.4299	-5.1039	0.3569	0.3096	0.4030
0.2375	0.5736	1.4232	-4.4573	0.3132	0.2771	0.3486
0.2327	0.6745	1.4170	-3.6955	0.2608	0.2381	0.2834
0.3492	0.1272	1.4444	-3.6028	0.2494	0.1767	0.3189
0.3427	0.2500	1.4355	-4.0932	0.2851	0.2203	0.3478
0.3356	0.3632	1.4278	-4.1751	0.2924	0.2379	0.3457
0.3290	0.4769	1.4200	-4.2560	0.2997	0.2586	0.3403
0.3209	0.5822	1.4138	-3.5397	0.2504	0.2240	0.2766
0.4403	0.1324	1.4340	-3.0527	0.2129	0.1392	0.2843
0.4305	0.2623	1.4247	-3.7914	0.2661	0.2055	0.3256
0.4253	0.3707	1.4174	-3.6140	0.2550	0.2085	0.3011
0.4174	0.4833	1.4102	-3.3292	0.2361	0.2068	0.2654
0.5440	0.1312	1.4224	-2.7149	0.1909	0.1224	0.2584
0.5334	0.2564	1.4140	-3.0027	0.2124	0.1612	0.2633
0.5213	0.3760	1.4066	-2.8780	0.2046	0.1728	0.2367
0.6453	0.1349	1.4112	-1.8785	0.1331	0.0776	0.1888
0.6290	0.2612	1.4032	-2.3444	0.1671	0.1328	0.2018
0.7538	0.1350	1.3990	-1.4893	0.1065	0.0718	0.1418
0.8724	0.0701	1.3907	-0.8756	0.0630	0.0429	0.0837

From figure 2, it can be seen that the refractive index deviation for the system propan-1-ol + cyclohexane + benzene is negative at all volume fractions, which is also confirmed by the binary subsystems shown in figure 1.

Table 6. Cibulka coefficients, C_0, C_1, and C_2, and standard deviations of fitting σ for the ternary system propan – 1 – ol + cyclohexane + benzene

Property	C_0	C_1	C_2	σ (Δn) x(10^{-4})
Δn	-0.0773	0.1314	0.0195	2.6

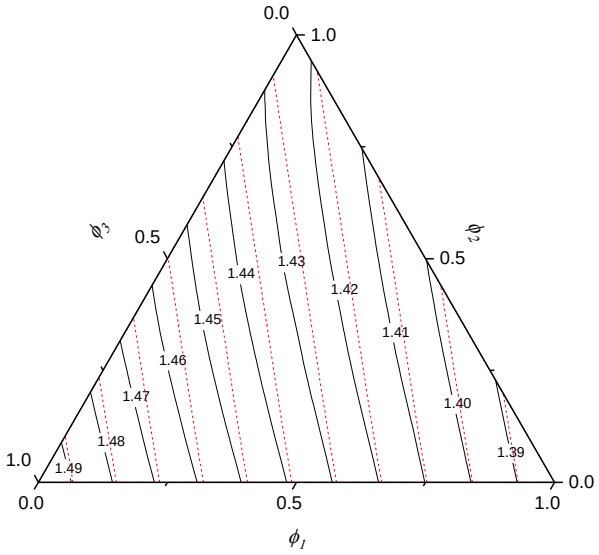


Figura 3. Refractive index of ternary liquids mixtures: experimental data (solid line) and modeled data (dash line).

In figure 3, the experimental refractive index and the refractive index obtained from the L-L mixing rule are presented. The refractive index values obtained from the other mixing rules discussed in this study are not shown, as they lead to even higher deviations from the experimental data

CONCLUSION

This paper presents the refractive index for the ternary system (propan-1-ol + cyclohexane + benzene) measured at 298.15 K and ambient pressure. Refractive index data for the corresponding binary subsystems (propan-1-ol + cyclohexane), (propan-1-ol + benzene), and (cyclohexane + benzene) are also reported. It has been observed that the refractive index deviation is negative throughout the entire region of volume fractions at the studied temperature, for both the ternary system and its binary subsystems.

The refractive indices were compared with the predicted results from four mixing rules: Gladstone-Dale (G-D), Lorentz-Lorentz (L-L), Newton (N), and Eyring-John (E-J). Based on the average percentage deviation (APD) data, the predictive capacity of the mixing rules

follows the sequence: for all three binary mixtures, L-L < E-J < G-D < N and for ternary mixtures L-L < G-D < N.

REFERENCES

1. F. Aliaj, N. Syla, A. Zeqiraj, A. Bytyqi-Damoni, and Z. Tolaj, "Refractometric behavior of ternary liquid mixtures of cyclohexene, ethanol and acetone at four different temperatures," 2017.
2. F. Aliaj, A. Hernández, A. Zeqiraj, N. Syla, and T. Arbneshi, "Physical Properties of the Ternary System Toluene + n-Hexane + Cyclohexane at 298.15 K: Experimental and Modeling Study," *Int J Thermophys*, vol. 45, no. 1, p. 3, Jan. 2024.
3. A. Hernández, A. Z. Zeqiraj, and F. R. Aliaj, "Densities, Sound Speeds, and Refractive Indices of 1-Propanol + Cyclohexane (or Cyclohexene or Cyclohexanone) Binary Mixtures at Various Temperatures Under Atmospheric Pressure: Experimental and Modeling Study," *Int J Thermophys*, vol. 44, no. 7, p. 102, Jul. 2023.
4. A. Zeqiraj, A. Hernández, N. Syla, R. Raçi, and F. Aliaj, "Densities and Sound Speeds of Binary Mixtures of Cyclohexane + Benzene (or Toluene, or Ethylbenzene or *o* -, *m* -, *p* -Xylene) within the Temperature Range of 293.15–333.15 K and Ambient Pressure: Experimental, Correlation, and Modeling Study," *J Chem Eng Data*, Oct. 2023.
5. F. Aliaj *et al.*, "Thermophysical Properties of the 2-Methylpropan-1-ol + Cyclohexane + Benzene Ternary System and Its Binary Subsystems Within the Temperature Range (293.15–333.15) K and Under Ambient Pressure," *Int J Thermophys*, vol. 44, no. 7, p. 113, Jul. 2023.
6. T. Arbneshi, A. Qerimi, A. Zeqiraj, N. Syla, and F. Rr. Aliaj, "Densities and Sound Speeds of Ternary Mixtures Methyl *tert* -Butyl Ether + Toluene + *n* -Hexane (or Cyclohexane) and Their Binary Subsystems at a Temperature of 298.15 K and under Ambient Pressure," *J Chem Eng Data*, vol. 67, no. 9, pp. 2098–2107, Sep. 2022.
7. F. Aliaj and A. Zeqiraj, "Thermodynamic excess properties of binary mixtures of methanol + pyridine, methanol + benzene, and pyridine + benzene at several temperatures and atmospheric pressure," *Phys Chem Liquids*, pp. 1–13, Mar. 2023.
8. F. Aliaj *et al.*, "Densities, Refractive Indices, and Derived Properties of Binary Mixtures of Ethanol with Benzene and Pyridine at Various Temperatures Under Atmospheric Pressure," *Int J Thermophys*, vol. 41, no. 4, p. 49, Apr. 2020.
9. A. ZEQİRAJ, A. GJEVORİ, A. LLOZANA, N. SYLA, and F. ALİAJ, "Thermodynamic Properties of Ethanol + Pyridine, Ethanol + Benzene, and Pyridine + Benzene Mixtures at Temperature 298.15 K and Under Atmospheric Pressure," *International Journal of Thermodynamics*, pp. 1–8, Dec. 2022.
10. H.-D. Kim, I.-C. Hwang, and S.-J. Park, "Isothermal vapor–liquid equilibrium at 323.15K and excess molar volumes and refractive indices at 298.15K for the ternary system propyl

vinyl ether+1-propanol+benzene and its binary sub-systems," *Fluid Phase Equilib*, vol. 274, no. 1–2, pp. 73–79, Dec. 2008.
11. J. D. Pandey, A. K. Shukla, S. Gupta, and S. Pandey, "Ultrasonic velocity and refractive index of multicomponent systems," *Fluid Phase Equilib*, vol. 103, no. 2, pp. 285–299, Feb. 1995.
12. Á. Piñeiro, P. Brocos, A. Amigo, M. Pintos, and R. Bravo, "Prediction of Excess Volumes and Excess Surface Tensions from Experimental Refractive Indices," *Phys Chem Liquids*, vol. 38, no. 2, pp. 251–260, Mar. 2000.

APPLICATION OF REFRACTIVE INDICES MIXING RULES IN BINARY SYSTEMS OF 1 - BUTANOL, T - BUTANOL WITH TOLUENE, ETHYLBENZENE, AND ISOBUTANOL + TOLUENE AT A TEMPERATURE OF 303.15 K UNDER ATMOSPHERIC PRESSURE

Altin GJEVORI
Polytechnic University of Tirana, Faculty of Mathematics and Physics Engineering, Department of Physics Engineering, ALBANIA

Arbër ZEQIRAJ
University "Isa Boletini" Mitrovica, Department of Materials and Metallurgy, KOSOVA

Artan LLOZANA
Polytechnic University of Tirana, Faculty of Mathematics and Physics Engineering, Department of Physics Engineering, ALBANIA

Naim SYLA
University of Pristina "Hasan Prishtina", FMNS, Department of Physics, KOSOVA

Fisnik ALIAJ
University of Pristina "Hasan Prishtina", FMNS, Department of Physics, KOSOVA

ABSTRACT

The refractive index is a fundamental property of liquid mixtures, providing insights into molecular interactions and structural arrangements. In this study, the refractive indices of binary systems involving 1-butanol, t-butanol with toluene, ethylbenzene, and isobutanol + toluene were experimentally measured across the entire range of molar fractions at a temperature of 303.15 K under atmospheric pressure. The primary objective was to assess the applicability of various refractive index mixing rules, including Arago-Biot (A-B), Lorentz-Lorentz (L-L), Newton (N), Eyring, and John (E-J), in predicting the refractive indices of these binary systems.

The experimental measurements were systematically compared with theoretical values obtained from the selected mixing rules. The accuracy of these models was evaluated using the mean absolute percentage deviation (MAPD), providing a quantitative measure of their predictive performance. The findings reveal that some models exhibit superior predictive accuracy, while others show notable deviations, highlighting the impact of molecular interactions and non-ideal mixing behavior.

This study contributes to a better understanding of the applicability and limitations of different refractive index mixing rules for binary liquid mixtures. The results are relevant for various industrial and scientific applications, including optical material design, chemical

engineering, and the formulation of liquid mixtures in pharmaceuticals and petrochemicals. By identifying the most reliable mixing rules, this research aids in improving the accuracy of optical property predictions for complex liquid systems.

Keywords: butanol, toluene, ethylbenzene, mixing rules.

INTRODUCTION

Substances like oils, sugars, and more. By measuring the refractive index alongside the density of liquid mixtures, a better understanding of the mixing behavior can be achieved. A review of the literature reveals no studies specifically addressing refractive index predictions for the systems selected in this paper. Commonly used predictive models for refractive index estimation include Arago-Biot (A-B), Lorentz-Lorenz (L-L), Newton (N), and Eyring-Ang-John (E-J). These mixing rules have been studied and validated for various systems by different researchers (Pretorius et al. 2021; Sijilmassi et al. 2023), and these mixtures were also examined in our previous research (Zeqiraj et al. 2022). This paper aims to identify the most accurate predictive model for binary liquid mixtures: 1-butanol, t-butanol with toluene, ethylbenzene, and isobutanol + toluene at a temperature of 303.15 K, across the entire molar fraction range.

MATERIALS AND METHOD

The chemicals used in this research are 1-butanol (≥99.4%, Sigma-Aldrich), isobutanol (≥99.5%, Sigma-Aldrich), t-butanol (≥99.5%, Biochem), toluene (≥99.8%, Sigma-Aldrich ethylbenzene (≥99.0%, abcr). These chemicals were used without further purification. The purity of the chemicals was checked by measuring the density and refractive indices at 303.15 K and comparing them with the literature. For the preparation of mole fractions, the masses of the pure substances were measured using an analytical balance (KERN & Sohn Gmbh, model 220-4N) with a resolution of ± 0.1 mg. The standard uncertainty in mole fractions was estimated to be better than ±0.0001. Density was measured using the Anton Paar device, model DSA 5000M. The standard uncertainty for density is $\pm$ 0.0005 $g\ cm^{-3}$, and for temperature, it is $\pm$ 0.01K (Aliaj et al. 2023; Aliaj et al. 2020). Refractive index was measured by using digital refractometer, Kruss, model DR6000. The standard uncertainty for refractive index is $\pm$ 0.00005.

RESULTS AND DISCUSSION

In this work, an effort has been made to study the validity of four mixing rules for predicting the refractive index for five binary systems: 1-butanol + toluene, 1-butanol + ethylbenzene, isobutanol + toluene, t-butanol + toluene, and t-butanol + ethylbenzene, across the entire region of molar fractions, at a temperature of 303.15 K under local atmospheric pressure. The equations for determining the refractive index are given below

Arago – Biot (A-B):

$$n = n_1\varphi_1 + n_2\varphi_2$$

Where *n* – represent the refractive index of the mixture, n_1, n_1 represent the refractive index of substance 1 and 2, respectively, and φ_1, φ_2 represent the volume fraction of substance 1 and 2, respectively.

Lorentz – Lorenz (L-L):

$$\frac{n^2-1}{n^2+2} = \left(\frac{n_1^2-1}{n_1^2+2}\right)\varphi_1 + \left(\frac{n_2^2-1}{n_2^2+2}\right)\varphi_2$$

Newton (NEW):

$$n^2 - 1 = (n_1^2 - 1)\,\varphi_1 + (n_2^2 - 1)\,\varphi_2$$

Eyring-John (E-J):

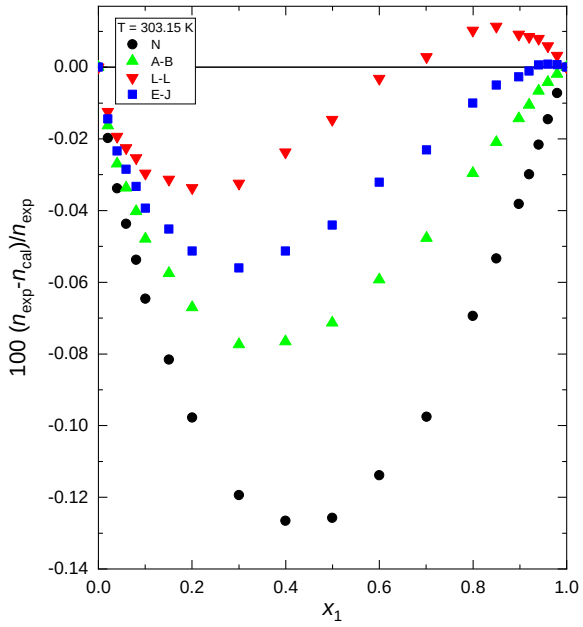
$$n = n_1\varphi_1^2 + 2\sqrt{n_1 n_2}\varphi_1\varphi_2 + n_2\varphi_2^2$$

Mean absolute percentage deviation (MAPD) was used as a tool to evaluate the best mixing rules.

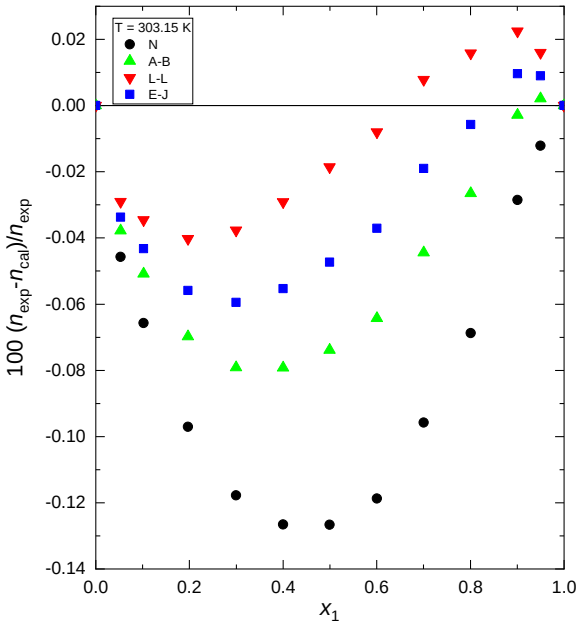
$$MAPD = \frac{100}{N}\sum_{I}^{N}\left|\frac{n_i^{exp} - n_i^{cal}}{n_i^{exp}}\right|$$

n_i^{exp}– represents the experimental refractive index, n_i^{cal}– represents the refractive index predicted by the model, and n represents the number of measurements.

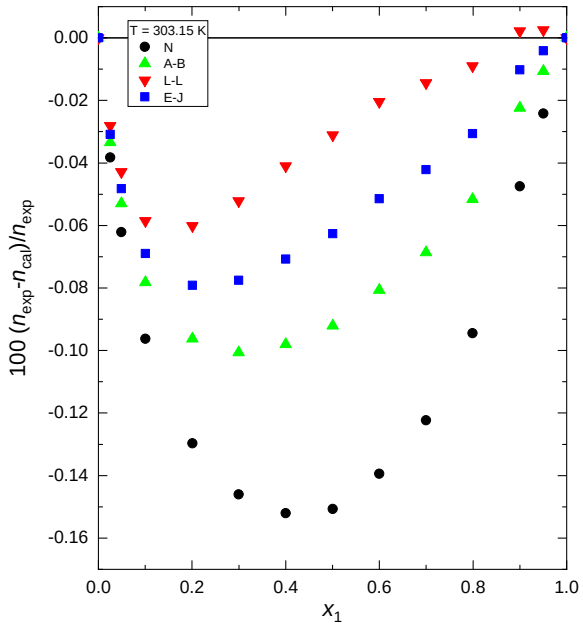
In the graphs below, the deviations of the experimental measurements from the calculated ones are presented as a function of the molar fractions.


T = 303.15 K
N
A-B
L-L
E-J
100 (n_{exp}-n_{cal})/n_{exp}
x_1

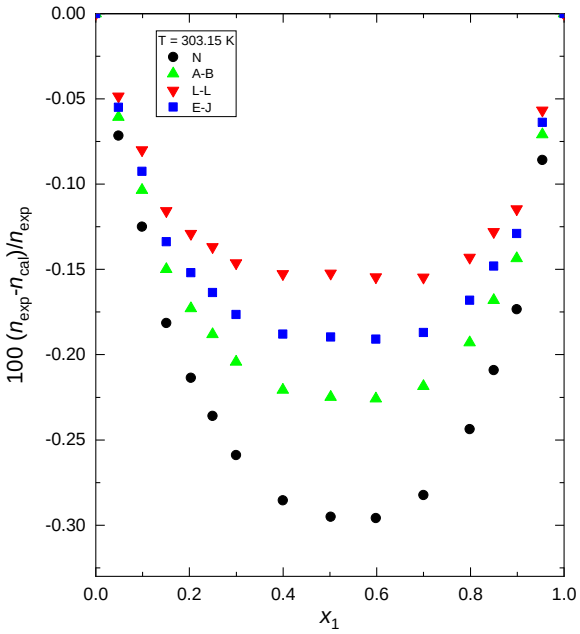
(a)


T = 303.15 K
N
A-B
L-L
E-J
100 (n_{exp}-n_{cal})/n_{exp}
x_1

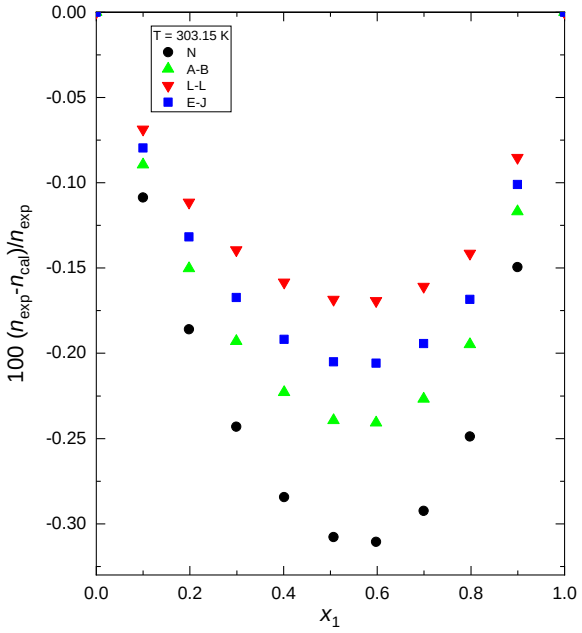
(b)


T = 303.15 K
N
A-B
L-L
E-J
100 (n_{exp}-n_{cal})/n_{exp}
x_1

(c)


T = 303.15 K
N
A-B
L-L
E-J
100 (n_{exp}-n_{cal})/n_{exp}
x_1

(d)



(e)

Fig. 1. $100\frac{n_{exp}-n_{cal}}{n_{exp}}$ v.s. x_1 for binary systems (a) 1-butanol (1) + toluene (2), (b) 1-butanol (1) + ethylbenzene (2), (c) isobutanol (1) + ethylbenzene (2), (d) t-butanol (1) + toluene (2) and (e) t-butanol (1) + ethylbenzene (2). The symbols refer to: ▲ – A-B, ▼ – L-L, ● – N and ■ – E-J.

For the 1-butanol + toluene system, the deviation between the measured refractive index and the values calculated by predictive models is predominantly negative in the A-B and N models. In the L-L model, the deviation is negative up to a molar fraction of $x_1 \approx 0.65$, after which it becomes positive. In the E-J model, the deviation is negative up to a molar fraction of $x_1 \approx 0.9$, then turns positive.

For the 1-butanol + ethylbenzene system, the deviation remains negative across the entire range of molar fractions for most models. In the L-L model, the deviation is negative until the molar fraction $x_1 \approx 0.65$, after which it becomes positive. In the E-J model, the deviation is negative until $x_1 \approx 0.8$, and then it turns positive. In the A-B model, the deviation remains negative up to $x_1 \approx 0.9$, after which it becomes positive.

For the isobutanol + toluene system, the deviation is negative in the N, A-B, and E-J models, while in the L-L model, the deviation turns positive at a molar fraction of $x_1 \approx 0.9$.

For the t-butanol + toluene or ethylbenzene systems, the deviation is negative across all the models studied in this work, throughout the entire range of molar fractions.

Table 1. Mean absolut percentage deviation (MAPD) for the Argo-Biot (A-B), Lorentz-Lorens (L-L), Newton (N), Eyring and John (E-J) relation in binary mixtures: 1-butanol + toluene, 1-butanol + ethylbenzene, isobutanol + toluene, t-butanol + toluene and t-butanol + ethylbenzene, at temperature 303.15 K, under atmospheric pressure.

T = 303.15 K				
	A-B	L-L	N	E-J
1-butanol + toluene	0.034	0.015	0.058	0.022
1-butanol + ethylbenzene	0.041	0.020	0.069	0.029
isobutanol + toluene	0.056	0.026	0.086	0.041
t-butanol + toluene	0.147	0.107	0.185	0.127
t-butanol + ethylbenzene	0.152	0.109	0.194	0.131

Based on MAPD the best predictive model is the Lorentz-Lorenz (L-L) model. For all the systems studied in this work, the following sequence is observed: L-L < E-J < A-B < N.

CONCLUSION

In this paper, four predictive models for the refractive index of the systems 1-Butanol + Toluene, 1-Butanol + Ethylbenzene, Isobutanol + Toluene, and T-Butanol + Toluene, Ethylbenzene are analyzed. Based on the Mean Absolute Percentage Deviation (MAPD) from applying these models to the studied systems, it is found that the Lorentz-Lorenz model performs the best overall. In general, for all the systems studied and for all predictive models, the ranking of performance follows the order: L-L < E-J < A-B < N.

REFERENCES

Pretorius, F., Focke, W. W., Androsch, R., & du Toit, E. (2021). Estimating binary liquid composition from density and refractive index measurements: A comprehensive review of mixing rules. *Journal of Molecular Liquids, 332*, 115893. https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.115893

Sijilmassi, O., García-Parejo, P., & Álvarez-Herrero, A. (2023). Evaluation of the refractive indices of pure organic dyes using binary mixture models. *Journal of Molecular Liquids, 384*, 122221. https://doi.org/10.1016/j.molliq.2023.122221

Zeqiraj, A., Gjevori, A., Llozana, A., Syla, N., & Aliaj, F. (2022). Thermodynamic properties of ethanol + pyridine, ethanol + benzene, and pyridine + benzene mixtures at

temperature 298.15 K and under atmospheric pressure. *International Journal of Thermodynamics*, 1–8. https://doi.org/10.5541/ijot.1173589

Aliaj, F., Gjevori, A., Llozana, A., et al. (2023). Thermophysical properties of the 2-methylpropan-1-ol + cyclohexane + benzene ternary system and its binary subsystems within the temperature range (293.15–333.15) K and under ambient pressure. *International Journal of Thermophysics, 44*, 113. https://doi.org/10.1007/s10765-023-03222-1

Aliaj, F., Gjevori, A., Llozana, A., Syla, N., Elezaj, N., Ziberi, B., & Dalipi, B. (2020). Physical properties of the binary mixtures of ethanol + benzene and ethanol + pyridine at five temperatures under atmospheric pressure. *Acta Physica Polonica A, 137*(4), 465–472. https://doi.org/10.12693/APhysPolA.137.465

ASSESSING WIND POWER DENSITY IN SEMAN REGION, ALBANIA: A COMPARISON OF WEIBULL, LOG-NORMAL, AND GAMMA DISTRIBUTIONS

Miranda HALILI
Phd student, 'Ismail Qemali', Vlora, University, Faculty of Technical and Natural Science, Department of Engineering and Maritime Technology, ALBANIA

Valbona MUDA
Assoc. Prof, Polytechnic University of Tirana, Faculty of Mathematical and Physical Engineering, Department of Physical Engineering, ALBANIA

Driada MITRUSHI
Assoc. Prof, Polytechnic University of Tirana, Faculty of Mathematical and Physical Engineering, Department of Physical Engineering, ALBANIA

Fjorela VERAJ
Phd student, 'Ismail Qemali', Vlora, University, Faculty of Technical and Natural Science, Department of Mathematics and Physics, ALBANIA

ABSTRACT

This study evaluates wind power density in the Seman region, Fier, Albania, using daily wind speed data at 100 meters for 2024. Three statistical distribution models—Weibull, Log-Normal, and Gamma—were applied to analyze wind speed variations and identify the most suitable model for resource assessment. Python was used for parameter estimation, goodness-of-fit evaluation, and wind power density calculations. The performance of the distributions was evaluated using Kolmogorov-Smirnov (KS) statistic, p-value, RMSE, and R^2. The Log-Normal distribution provided the best overall fit, achieving the lowest KS statistic and highest p-values for most months, outperforming other models for the entire year. The Gamma distribution performed best in March and December. The Weibull distribution showed limitations in accurately modeling wind conditions in the Seman region. This study provides valuable insights into wind energy potential, enhancing the understanding of wind resource evaluation in other areas in Albania.

Keywords: Wind Speed Distribution, Weibull Distribution, Log Normal Distribution, Wind Power Density, Renewable Energy.

RAINWATER PURIFICATION SYSTEM WITH RENEWABLE ENERGY INTEGRATION

Dulina binti Tholibon
Politeknik Tun Syed Nasir Syed Ismail, Hab Pendidikan Tinggi Pagoh, KM 1 Jalan Panchor, 84600 Pagoh, Muar, Johor Darul Takzim, Malaysia

Mohamed Hamdan bin Mohamad Ibrahim
Politeknik Tun Syed Nasir Syed Ismail, Hab Pendidikan Tinggi Pagoh, KM 1 Jalan Panchor, 84600 Pagoh, Muar, Johor Darul Takzim, Malaysia

Sugganya A/P Munisparan
Politeknik Tun Syed Nasir Syed Ismail, Hab Pendidikan Tinggi Pagoh, KM 1 Jalan Panchor, 84600 Pagoh, Muar, Johor Darul Takzim, Malaysia

ABSTRACT

Water is seen as an everlasting free resource that is obtained naturally. As the population grows, the demand for treated supply water is growing higher especially for drinking as well as for use in households, agriculture, and other applications. In Malaysia, about 98% of the drinking water supply comes from surface water sources like rivers and dams, and only 2% of the drinking water supply is derived from groundwater. However, rivers in Malaysia are extremely polluted due to pollution from industries, household waste, and agricultural runoff. This will cause the quality of the water sources to be impacted by the contamination and make it difficult to purify and provide safe drinking water. Besides that, worldwide changes in climate and weather patterns, like the El Nino or La Nina phenomenon also have an effect on water resources in various countries and will cause a water shortage to occur. This research tackles the issues of seeking potable water that is clean and safe for daily consumption by designing an efficient rainwater purification system. Since Malaysia often receives relatively higher levels of rainfall, rainwater is used as a water source. The system includes filtration units to remove all the physical impurities and chemical contaminants, a sensor to control the water level, and also a solar panel as renewable energy generation. The system could be utilized locally and commercially for securing water demand in water-scarce areas that foster a more resilient and self-sufficient water management system for long-term sustainability and livability. Overall, this research has the potential to be implemented in Malaysia as an alternative for providing safe drinking water.

Keywords: Treated water, rainwater purification system, filtration, sensor, renewable energy.

INDOOR RADON EVALUATION IN A FACULTY BUILDING IN TIRANA, ALBANIA: LEVELS, DOSIMETRY AND IMPLICATIONS

Gjon RROTA
PhD Candidate., Polytechnic University of Tirana, Institute of Geosciences, Geology Department, ALBANİA

Margarita KUQALI
Prof.Assoc., Polytechnic University of Tirana, Faculty of Mathematics Engineering and Physics Engineering, Department of Physical Engineering, ALBANİA

Gazmend NAFEZI
Prof.Assoc., Hasan Prishtina University, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Department of Physics, KOSOVO

ABSTRACT

Radon-222 (^{222}Rn), a naturally occurring radioactive gas, is a significant contributor to human exposure from natural radiation sources and ranks as the second leading cause of lung cancer worldwide according to the World Health Organization. This study evaluates short-term indoor radon concentrations at the Faculty of Mathematics Engineering and Physics Engineering, Polytechnic University of Tirana, Albania, a two-story educational building in Tirana's urban center. Using the Alpha GUARD PQ2000 PRO in flow mode, radon levels were measured over 10-minute intervals during winter across 20 ground-floor rooms (9 offices, 5 classrooms, 6 labs) and 9 first-floor rooms (1 office, 6 classrooms, 2 labs), with a focus on altitude-related variations. Results revealed ground-floor concentrations ranging from 63 to 209 Bq/m³ (mean: 117.7 Bq/m³) and first-floor levels from 47 to 122 Bq/m³ (mean: 85.22 Bq/m³), with corresponding annual effective doses of 0.363–1.204 mSv/year and 0.27–0.703 mSv/year, respectively. These findings, statistically significant ($p < 0.05$) between floors, enhance Albania's radon database and highlight the need for ongoing surveillance in educational settings, particularly in geologically radon-prone areas like Tirana. The data underscore the importance of ventilation and inform future mitigation strategies to safeguard public health.

Keywords: Indoor Radon, AlphaGUARD, Effective Dose, Educational Building, Tirana, Lung Cancer Risk, Geological Factors, Statistical Significance

INTRODUCTION

Radon-222 (^{222}Rn), a naturally occurring radioactive gas from the uranium-238 decay series, is the primary source of natural radiation exposure and the second leading cause of lung cancer worldwide after smoking [4], [5], [18].

In Albania, Tirana's urban geology—where 54% of foundation soils show high radon potential—amplifies this risk, yet systematic indoor radon data, especially in educational settings, remain scarce [1][2][5][7][8][14].

The multiplicity of factors influencing indoor radon concentrations including geological substrate properties, soil permeability, meteorological conditions, building characteristics, and occupant behaviors renders predictive modeling approaches currently inadequate for reliable exposure assessment [6][9][17][18][19]. Consequently, direct measurement methodologies remain the gold standard for quantitative radon risk evaluation.

This study addresses this gap by evaluating radon levels in the Faculty of Mathematical Engineering and Physics Engineering at the Polytechnic University of Tirana. We aimed to: (1) measure indoor radon concentrations across functional spaces, (2) assess floor-level differences, (3) estimate annual effective doses, (4) analyze spatial-temporal patterns, and (5) inform radon management strategies for Albanian educational facilities.

MATERIALS AND METHOD

Study Area

The Faculty of Mathematical Engineering and Physics Engineering at the Polytechnic University of Tirana, Albania, served as the investigation site. This educational facility is situated in Tirana's central urban area (41°19'12"N, 19°48'17"E) at an elevation of 98 meters above sea level, in proximity to the River Lana [7]. The building comprises two stories housing various functional spaces including classrooms, laboratories, and administrative offices. [Fig.1].

From a geological perspective, the site is situated upon alluvial deposits overlying molasse formations of the Tirana syncline. Previous geogenic radon potential mapping has classified this area as having high radon risk, with approximately 43% of foundation soils within the Lana River terrace exhibiting elevated radon concentrations in soil gas [7], [8]. This geological context establishes the site as particularly relevant for indoor radon assessment.

Recently renovated, faculty builig hosts classrooms, labs, and offices with varying occupancy and ventilation patterns.

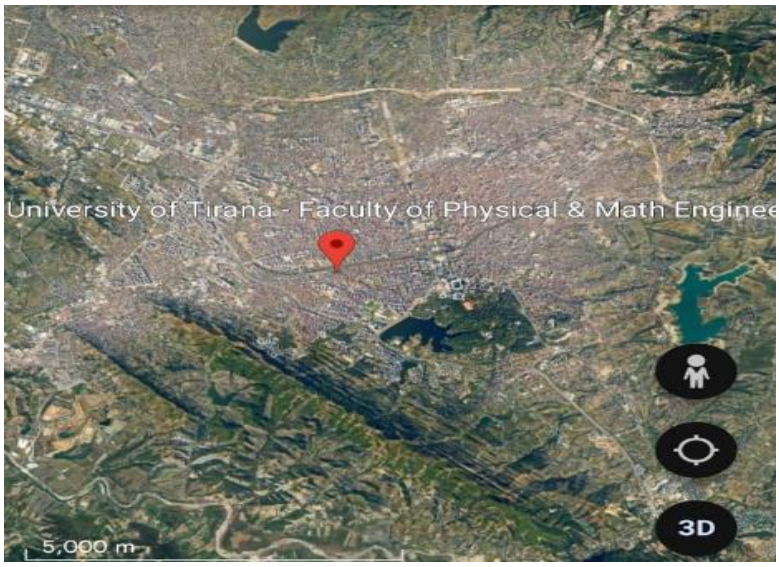


Figure 1. Location of indoor radon measurements

Experimental Methods

Continuous radon monitoring was implemented using the AlphaGUARD PQ2000 PRO, a calibrated active radon detection system employing an ionization chamber with pulse-counting alpha spectroscopy [Fig.1], with a range of 2–2,000,000 Bq/m³, sensitivity of 1 cpm at 20 Bq/m³, and uncertainty <3% at 100 Bq/m³. Operating in flow mode, we recorded 10-minute intervals over 8 hours (08:00–16:00) per location during February 2023, to capture diurnal variation during occupancy. Windows and doors were closed for 12 hours prior to assess overnight accumulation. We sampled 20 ground-floor rooms (9 offices, 5 classrooms, 6 labs) and 9 first-floor rooms (1 office, 6 classrooms, 2 labs), placing the detector centrally, 1.5 meters from walls and windows.

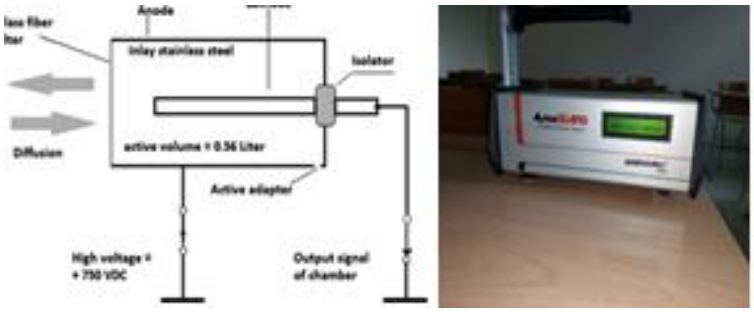


Figure 2. AlphaGUARD portable radon monitoring device and its ionization chamber

Dose Calculation

Annual effective dose calculations were performed according to the methodological framework established by the International Commission on Radiological Protection (ICRP) and the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). The effective dose (D) from radon exposure was calculated using the following equation:

$$D = C \times F \times T \times DCF \quad (1)$$

where

D - Annual effective radiation dose in mSv/year,

C - Radon concentration in Bq/m³,

F - Equilibrium factor between radon and its decay products (typically 0.4 for buildings and indoor settings [17]),

T - Time spent in the indoor environment in hours/year,

DCF - the dose conversion factor (9 nSv per Bq·hour/ m³ for radon). Occupancy time (T) was calculated based on the typical academic schedule: 8 hours daily occupancy, 22 working days monthly, and a 9-month academic year, yielding approximately 1600 hours annually. This parameter was standardized across all measurement locations to facilitate comparative dosimetric assessment.

Statistical Analysis

Comprehensive statistical analysis was performed using IBM SPSS Statistics (Version 25.0). Descriptive statistics were calculated for both radon concentrations and effective doses, including mean, median, standard deviation, coefficient of variation, and percentile distributions. The Shapiro-Wilk test was applied to assess normality of distribution prior to inferential statistical testing.

A two-sample t-test assuming unequal variances was conducted to evaluate the statistical significance of observed differences in radon concentrations between ground floor and first floor environments. Statistical significance was established at $p < 0.05$. Additionally, correlation analysis was performed to examine potential relationships between radon concentrations and room characteristics.

RESULTS AND ANALYSIS

Radon levels varied significantly by floor, with ground-floor means 32.5 Bq/m³ higher than first floor means ($p < 0.05$), reflecting soil-gas influence. Concentrations ranged from 47–209 Bq/m³ across 29 locations, peaking in early mornings after overnight closure and declining with ventilation (Figures 3–4).

Spatial Distribution of Radon Concentrations

Indoor radon measurements across the 29 monitored locations revealed substantial spatial heterogeneity, with concentrations ranging from 47 Bq/m³ to 209 Bq/m³. A pronounced vertical stratification pattern was observed, with ground floor environments consistently exhibiting higher radon concentrations compared to corresponding first floor spaces.

Temporal analysis revealed systematic diurnal variation, with peak concentrations predominantly observed during early morning hours following overnight room closure,

followed by progressive decline coincident with increased ventilation and occupancy throughout the day. See Tables 1 and 2 for detailed measurements.

Table 1. Ground Floor Measurements

ID office	A.M. Bq/m³	Uncertainty Bq/m³	Effective Dose mSv/year
103 office	123	44	0,708
105 office	63	31	0,363
106 office	111	67	0,639
108 office	73	38	0,42
112 office	74	37	0,426
113 office	203	96	1,169
Recep. office	76	32	0,438
116 lab	103	41	0,593
118 lab	113	57	0,651
119 A lab	97	35	0,559
119 B lab	209	101	1,204
123 lab	112	35	0,645
126 lab	171	82	0,985
Auditorium	97	39	0,559
120 classroom	131	58	0,755
121/1 Auditorium	175	83	1,008
122 classroom	121	69	0,697
124 classroom	132	72	0,76
Depot	75	34	0,432
Archive	95	41	0,547

Table 2. First Floor Measurements

ID office	A.M. Bq/m³	Uncertainty Bq/m³	Effective Dose mSv/year
Dean office	77	33	0,444
210 lab	105	35	0,605
213 lab	81	31	0,467
208 Bibliotheque	71	29	0,409
203 classroom	47	23	0,27
205 classroom	85	39	0,49
214 classroom	87	35	0,501
217 classroom	92	37	0,53
220 classroom	122	57	0,703

Ground floor and first floor radon concentration is graphically represented in Fig [3] and Fig [4], a comparison of them is represented in Fig [5].

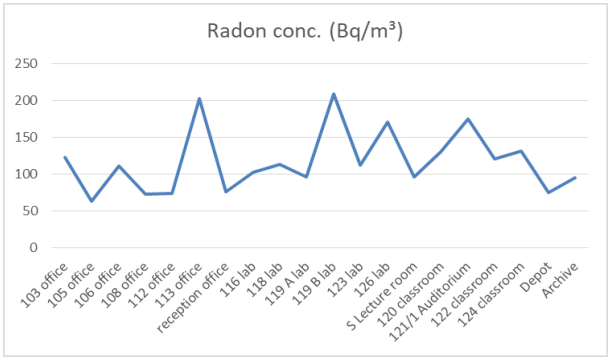


Figure 3. Ground floor ^{222}Rn conc Bq/m³ variation

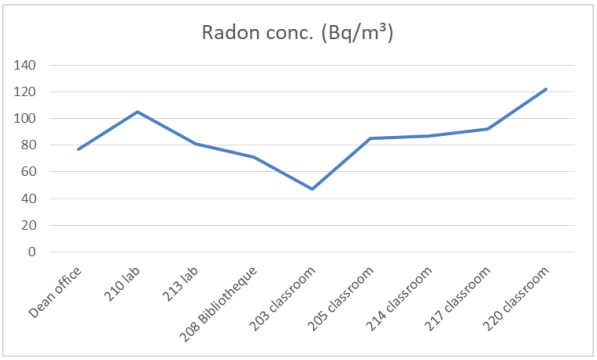


Figure 4. First floor ^{222}Rn conc Bq/m³ variation

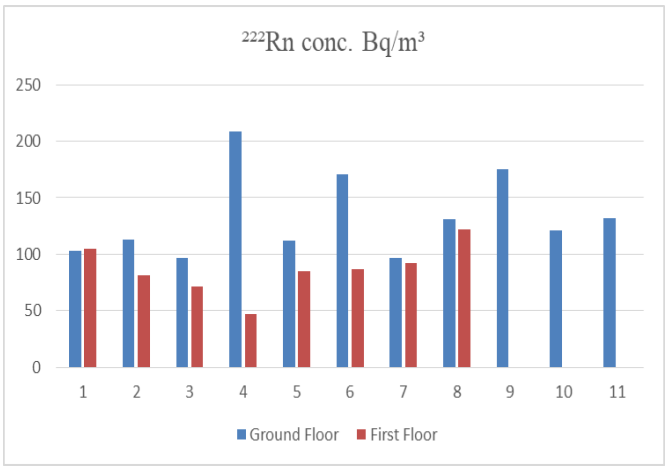


Figure 5. Ground Floor and First Floor labs & classrooms ^{222}Rn conc. Comparison

Dosimetric Assessment

The calculated annual effective doses demonstrated corresponding spatial variation, ranging from 0.363 mSv/year to 1.204 mSv/year on the ground floor and from 0.27 mSv/year to 0.703 mSv/year on the first floor (Tables 1 and 2). Three measurement locations, all situated on the ground floor, yielded effective doses exceeding 1 mSv/year—a threshold often considered significant from a radiological protection perspective, though remaining substantially below the ICRP-recommended limit of 10 mSv/year for public exposure.

The mean effective doses were calculated as 0.678 mSv/year for ground floor environments and 0.491 mSv/year for first floor environments, with an overall facility mean of 0.584 mSv/year. These values align with typical indoor radon exposure levels reported in educational facilities across Europe [9] [17], though they highlight specific locations warranting more detailed assessment and potential intervention.

Statistical Analysis and Significance

Comprehensive statistical characterization of the measurement data revealed differential distribution patterns between ground floor and first floor environments (Tables 3, 4, 5 and Figures 6, 7). Ground floor radon concentrations exhibited substantially greater dispersion (standard deviation: 46.2 Bq/m³; coefficient of variation: 39.3%) compared to first floor

measurements (standard deviation: 22.5 Bq/m³; coefficient of variation: 26.4%). This enhanced variability likely reflects the more heterogeneous influence of soil-gas infiltration mechanisms, structural characteristics, and ventilation patterns on ground floor environments.

Two-sample t-test analysis assuming unequal variances confirmed the statistical significance of the observed vertical stratification pattern ($p < 0.05$), supporting the hypothesis that radon concentrations systematically decrease with increasing altitude within multi-story buildings due to reduced soil gas infiltration and enhanced dilution at higher elevations. Percentile analysis demonstrated that 75% of ground floor measurements exceeded 131 Bq/m³, while 75% of first floor measurements remained below 105 Bq/m³, further quantifying the altitude-dependent concentration gradient.

The observed vertical stratification pattern aligns with theoretical models of radon transport in buildings and corroborates findings from previous studies investigating radon distribution in multi-story structures [7] [9]. This statistically significant difference between floors confirms the importance of considering vertical position when designing radon monitoring strategies and implementing mitigation measures in educational settings.

Table 3. Summary Statistics

Summary Statistics for Radon Concentrations and Effective Doses			
Parameter	**Ground Floor (n=20)**	**First Floor (n=9)**	**Overall (n=29)**
Radon Concentration (Bq/m³)			
Mean	117,7	85,22	107,5
Median	111	85	103
Standard Deviation (SD)	46,2	22,5	41,9
Coefficient Variation (%)	39,3	26,4	39,0
Range	63-209	47-122	47-209
Effective Dose (mSv/year)			
Mean	0,678	0,491	0,621
Median	0,639	0,49	0,593
Standard Deviation (SD)	0,266	0,13	0,241
Coefficient Variation (%)	39,2	26,5	38,8
Range	0,363-1,204	0,27-0,703	0,27-1,204

Table 4. Percentile Distribution

Percentile Distribution				
Percentile	**Ground Floor Radon (Bq/m³)**	**First Floor Radon (Bq/m³)**	**Ground Floor Dose (mSv/year)**	**First Floor Dose (mSv/year)**
25th	75	71	0,432	0,409
50th Median	111	85	0,639	0,49
75th	131	105	0,755	0,605

Table 5. Statistical Comparison (t-Test)

Statistical Comparison (Two sample t-Test)					
Parameter	Ground Floor Mean	First Floor Mean	t-Statistic	p-Value	Signifance
Radon Concentration (Bq/m³)	117,7	85,22	2,37	0,027	P < 0,05
Effective Dose (mSv/year)	0,678	0,491	2,35	0,029	P < 0,05

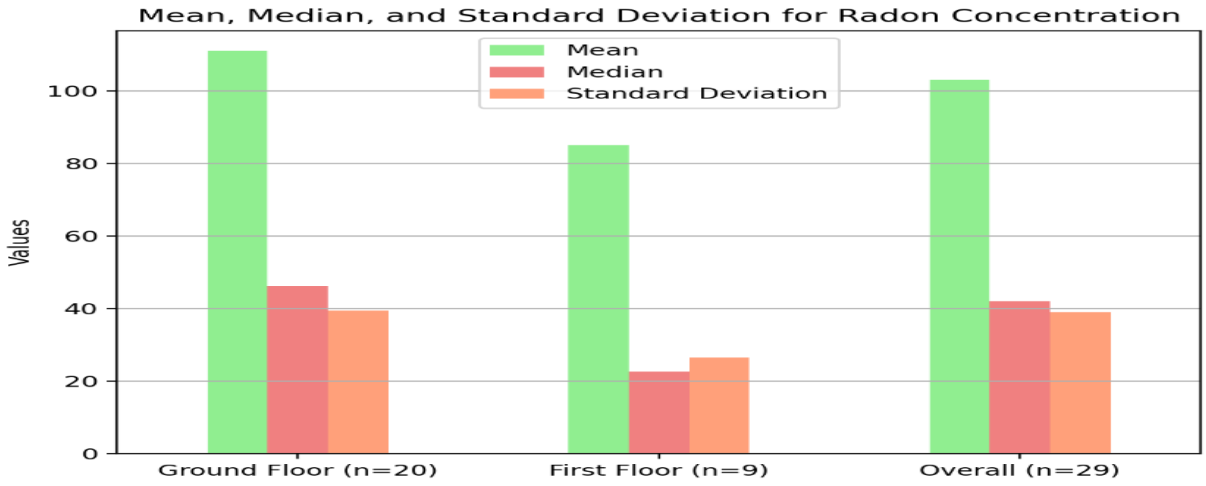


Figure 6

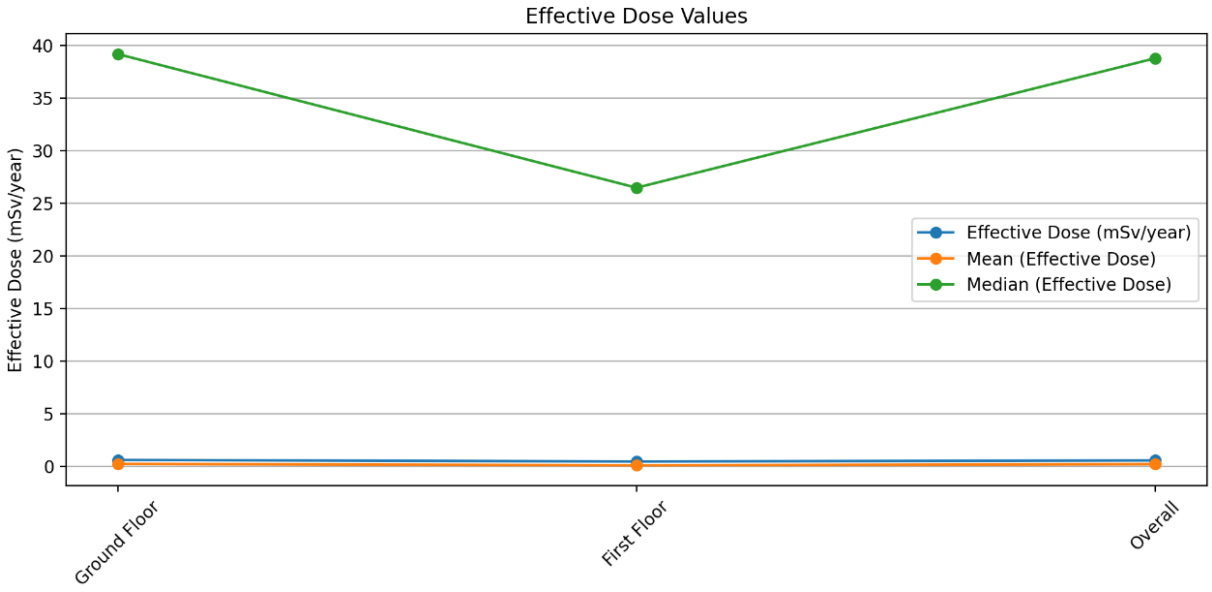


Figure 7

DISCUSSION AND IMPLICATIONS

The observed radon concentrations must be interpreted within the broader context of radiological protection standards and geological vulnerability. While all measured values remain below the Albanian national reference level of 300 Bq/m³ [13], approximately 38% of

locations exceeded the World Health Organization's recommended reference level of 100 Bq/m³ [18]. This discrepancy highlights the evolving nature of radon protection standards internationally and underscores the importance of applying conservative approaches to exposure assessment in educational environments.

The statistically significant vertical stratification observed between floors corroborates the established understanding of radon transport mechanisms in buildings, where soil gas serves as the predominant source of indoor radon. The reduced concentrations observed on the first floor reflect both increased distance from soil sources and enhanced dilution through vertical air exchange. This pattern emphasizes the importance of prioritizing ground floor environments in monitoring and mitigation strategies, particularly in regions with elevated geogenic radon potential such as Tirana.

The temporal variation patterns observed throughout the monitoring period demonstrate the critical influence of ventilation dynamics on indoor radon accumulation. Peak concentrations predominantly occurred during early morning hours following overnight room closure, with subsequent declines coinciding with increased occupancy and ventilation. This pattern suggests that simple operational interventions focused on optimizing ventilation protocols, particularly during periods of low occupancy, may yield significant reductions in cumulative exposure.

These findings emphasize the importance of implementing a multifaceted radon management strategy for educational facilities in geologically susceptible regions like Tirana. Such strategies should incorporate: regular monitoring protocols with emphasis on ground floor environments, optimization of ventilation practices, particularly during low-occupancy periods, targeted structural interventions for identified high-concentration locations, educational initiatives to enhance awareness among building occupants and administrators.

When interpreting the present findings we should take under account that the measurements represent short-term radon concentrations during winter conditions, and seasonal variation may influence annual average concentrations. The equilibrium factor (F = 0.4) applied in dosimetric calculations represents a standardized value that may vary based on specific environmental conditions.

Despite these limitations, the methodology employed provides robust comparative data regarding the spatial distribution of radon within the facility and establishes a foundation for more comprehensive assessment programs.

CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

The methodological approach demonstrated in this study provides a template for systematic radon assessment in similar contexts and contributes to the establishment of standardized protocols for radon surveillance in educational environments.

The results demonstrate a statistically significant vertical stratification of radon concentrations within the building, with ground floor environments consistently exhibiting higher levels compared to the first floor. This observation aligns with established models of radon transport and emphasizes the importance of prioritizing ground floor spaces in monitoring and mitigation efforts.

While the majority of measured radon concentrations remain below national regulatory thresholds, the proximity of mean values to more conservative international reference levels underscores the need for continued vigilance and proactive management strategies. The identification of specific locations with elevated effective doses provides valuable guidance for targeted interventional approaches.

Based on these findings, is recommended:

1. Implementation of systematic long-term radon monitoring programs in educational facilities throughout Tirana, with particular emphasis on buildings situated in areas with high geogenic radon potential

2. Development of standardized ventilation protocols optimized for radon mitigation, especially during periods of low occupancy

3. Establishment of a comprehensive national database documenting indoor radon concentrations across diverse building types and geological contexts

4. Integration of radon awareness components into occupational health programs for educational staff

5. Consideration of structural interventions for locations demonstrating consistently elevated radon concentrations

Implementation of these recommendations will constitute essential components of a comprehensive public health approach to radon risk management in Albania.

REFERENCES

K. Tushe, H. Reci, B.Daci, E. Bylyku, I. Berdufi, E. Kiri "Indoor radon concentration related to geological areas at different workplaces of Albania", in Proc. *Sixth International Conference on Radiation and Aplications in Various Fields of Research*, Ohrid, Macedonia, 2018, pp. 111-114. Retrieved from: https://www.rad-proceedings.org/proceedings.pdf. Retrieved on January 2, 2024

K. Bode, E. Bylyku, G. Xhixha, P. Dhoqina, B. Daci, F. Cfarku, M. Kaceli Xhixha, V. Strati Strati "First step toward the geographical distribution of indoor radon in dwellings in Albania", *Radiat. Prot. Dosimetry*, vol. 172, no. 4, pp. 488 – 495, Dec. 2016. DOI: 10.1093/rpd/ncv494 PMid: 2665607

K. Bode, E. Bylyku, F. Cfarku, I. Mucollari, M. Shyti "Results of the National Survey on Radon Indoors In Albania," in Proc. *7th International Conference of the Balkan Physical Union*, Greece, 2010. pp. 672-675. Retrieved from: https://pubs.aip.org/aip/acp/article-abstract/1203/1/672/928684/Results-Of-The-National-Survey-On-Radon-Indoors-In; Retrieved on: Jan. 4, 2024

S. Darby, D. Hill, H. Deo, et al., "Residential radon and lung cancer detailed results of a collaborative analysis of individual data on 7148 persons with lung cancer and 14,208 persons without lung cancer from 13 epidemiological studies in Europe", *Scand. J. Work Environ. Health* vol. 32 (Suppl. 1), 1–84, Feb. 2006. PMID: 16538937.

P. Dhoqina, K. Tushe, G. Xhixha, B. Daci, E. Bylyku, "Measurements of indoor radon concentrations in schools in some cities of North Albania" in Proc. *International Conference of the Balkan Physical Union*, Sofia, Bulgaria, 2018. Retrieved from: https://pubs.aip.org/aip/acp/article-abstract/2075/1/170003/695647/Measurements-of-indoor-radon-concentrations-in; Retrieved on: December. 4, 2023

C. Di Carlo, R. Remetti, F. Leonardi, R. Trevisi, L. Lepore, R. Ippolito, "Indoor radon survey in university buildings: A case study of Sapienza - University of Rome", *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, Vol 236, pp 317-324, 2019. DOI: 102495/AIR190311.

S. Dogjani, Y. Muceku, P. Lazo, "Evaluation of Radon Concentration in the Urban Area Foundation of Tirana, Albania", *Periodica Polytechnica Chemical Engineering*, vol 62, no. 2, pp 236-244, 2018. DOI: 10.3311/PPch.9972.

S. Dogjani *Study of Radon concentration measurements in the soils and indoors of Tirana city, Albania*, Rep. 17-64, Geological Survey of Albania (GSA), Albania, 2005.

Retrieved from: https://gsa.gov.al/archive.pdf. Retrieved on: December 21, 2022

Safety Standards for protecting people and the environment Protection of the Public against Exposure Indoors due to Radon and Other Natural Sources of Radiation, IAEA, Vienna, Austria, 2015, pp. 5-112. Retrieved from: www.pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1651Web-62473672.pdf.

http://www-ns.iaea.org/standards/ Retrieved on: October 7, 2023.

Publication 60, Recommendations, International Commission on Radiological Protection, no. 10-200, 1990.

Protection against Radon-222 at Home and at Work, ICRP, 1993, Publication 65, IAEA, Vienna, Austria, 2014.

J. Kemski, R. Klingel, A. Siehl, M. Valdivia-Manchego "From radon hazard to risk prediction-based on geological maps, soil gas and indoor measurements in Germany", *Environmental Geol*. vol. 56 no. 7, pp. 1269–1279, 2009. DOI: 10.1007/s00254-008-1226-z.

Këshilli i Ministrave te Shqipwrise (November.2015). V.K.M Nr. 957, date 25.11.2015 "*Për miratimin e rregullores për nivelet e lejuara të përqendrimit të radonit në ndërtesa dhe ujë, nivelet udhëzuese të radiobërthamave në materialet e ndërtimit, si dhe nivelet e*

lejuara të radiobërthamave në ushqime dhe produkte kozmetike". Retrieved from: www.ishp.gov.al/wp-content/uploads/2019/04/Rr.Nr_.957-date-25.11.2015-Per-nivelet-udhezuese-te-perqendrimit-te-radonit.pdf; Retrieved on: October 13, 2022

P. Prifti, R. Shuperka, S. Telo, "The Impact of Radon Gas on Pulmonary Cancer in Albania*",* *Medicus,* vol. 4, no. 2, pp. 106-153, 2021. DOI: 1058944/lzvc3934.

The Council of European Union. (Dec. 5, 2013). Council Directive 2013/59/EURATOM *on laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionizing radiation, and repealing.* Directives 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom and 2003/122/Euratom. Retrieved from: https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2013/59/oj.

K. Tushe, D. Prifti, J. Shano, M. Kaçeli, P. Dhoqina, "Results of Albania public opinion survey on radon risk perception", in proc. *International Conference in Radiation Applications*, Thessaloniki, Greece, 2022, pp. 12–16. Retrieved from: www.rap-proceedings.org/papers/RapProc.2022.04.pdf; Retrieved on: May 2, 2023.

Sources and Biological Effects of Ionizing Radiation, UNSCEAR 2008 volum 1, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, New York, USA, 2008, pp. Retrieved from: www.unscear.org/unscear/uploads/documents/unscearreports/UNSCEAR_2008_Report_Vol.I-CORR.pdf; *Retrieved on: October 12, 2022*

WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants, WHO Regional Office for Europe Scherfigsvej 8 DK-2100, Copenhagen, Denmark, 2010.

A public health perspective, World Health Organization, Int. J. Environ.Stud., 67 (1), pp. 108, 2009.

YOL HİPNOZU: LİTERATÜR İNCELEMESİ

ROAD HYPNOSIS: LITERATURE REVIEW

Tuğçe SONGUR KAHRAMAN
İskenderun Teknik Üni. Mühendislik ve Doğa Bil. Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü, 31200, İskenderun/Hatay
ORCID: 0000-0001-6433-1878

Ömer Faruk CANSIZ
Assist. Prof. Dr. İskenderun Teknik Üni. Mühendislik ve Doğa Bil. Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü, 31200, İskenderun/Hatay
ORCID: 0000-0001-6857-2513

ÖZET

Ulaştırma Mühendisliğinin çözülmeye çalışılan birçok problem bulunmaktadır. Bu problemlerden biri de uzun yolculuklardan sonra sık karşılaşılan ve trafik kazalarına sebebiyet veren yol hipnozu konusudur. Yol hipnozunun kişide baş göstermesindeki en büyük etken ise birçok araştırmacı tarafından belirtilen sürüş deneyiminin monoton bir hal almasıdır. Yol hipnozu sürüş ile alakalı tüm meslek gruplarında görülebilse de gerek daha çok tercih edilen ulaştırma çeşidi ve bu sebepten diğer ulaştırma çeşitlerine nazaran daha çok sürücü potansiyeline sahip olması gerekse de daha uzun ve monoton sürüş deneyimi sunan(otoban sürüşü) karayolu ulaştırmasında yol hipnozunun görülme olasılığı çok daha fazladır. Yol hipnozunun Ulaştırma Mühendisliğinde önem taşımasının en öncelikli sebebi trafik kazalarına sebebiyet vermesidir. Bu denli önemli bir konu ile alakalı ülkemizde neredeyse hiç çalışma yapılmamış olsa da Uluslararsı çalışmalar oldukça fazladır. Bu çalışmalar gerek yol hipnozunun nasıl tespit edilebileceği gerekse de nasıl önlenebileceği konuları üzerinde durmaktadır. Öyle ki hala tamamen önlenemeyen bu problem araştırmacılar tarafından oldukça güncel ve önemli konumdadır. Bu çalışmada Uluslararası anlamda hatırı sayılır dergilerde yer edinmiş yol hipnozu konulu çalışmalar incelenmiş olup ülkemizde de yol hipnozu ile alakalı çalışmaların artmasını temenni etmekteyiz.

Anahtar Kelimeler: Yol Hipnozu, Literatür İncelemeleri, Ulaştırma Mühendisliği

ABSTRACT

There are many problems that Transportation Engineering is trying to solve. One of these problems is road hypnosis, which is frequently encountered after long journeys and causes traffic accidents. The most important factor why road hypnosis occurs in a person is that the driving experience becomes monotonous, as stated by many researchers. Although road hypnosis can be seen in all professional groups related to driving, it is more likely to be seen in road transportation, which is a more preferred type of transportation and therefore has more driver potential than other types of transportation, and offers a longer and monotonous driving

experience (highway driving). is more. The primary reason why road hypnosis is important in Transportation Engineering is that it causes traffic accidents. Although almost no studies have been conducted in our country on such an important issue, there are many international studies. These studies focus on both how road hypnosis can be detected and how it can be prevented. So much so that this problem, which still cannot be completely prevented, is considered very current and important by researchers. In this study, studies on road hypnosis that have appeared in internationally renowned journals have been examined, and we hope that studies on road hypnosis will increase in our country.

Keywords: Road Hypnosis, Literature Reviews, Transportation Engineering

GİRİŞ (INTRODUCTION)

İnşaat mühendisliği bir medeniyetin kurulması için gerekli alt yapıyı sağlarken kurulan medeniyetin gelişmesi için de ihtiyaç duyulan en öncelikli müdendislik dalıdır. Bu sebeptendir ki inşaat mühendisliği medeniyet mühendisliği olarak dünya literatüründe yer edinmiştir. Bir medeniyetin oluşması ve gelişmesi için o medeniyete malzeme ve insan tedariğinin sağlanması gerekmektedir. Tedarik için de belirlenen medeniyete doğru daha gelişmiş medeniyetlerden ulaşım ağlarının oluşması mecburidir. Gelişen teknoloji ile eş zamanlı olarak gelişim gösteren ulaşım ağları inşaat mühendisliğinin ulaştırma ana biliminin gelişmesini de haliyle zorunlu kılmaktadır.

Ulaştırma mühendisliği bir çok araştırmacı tarafından araştırılan ve geliştirilen bir alandır.Gelişen teknoloji ile araba,tren,uçak gibi ulaşım araçları sahneye çıkmıştır. Bu taşıtların artması kaza olasılığını da arttırmaktadır. Kaza olasılığını arttıran etkenlerden biri de sürücünün monoton yollarda sıkça karşılaştığı yol hipnozu konusudur.

Yol hipnozu ilk olarak bir hipotez adı altında ele alınmış olup monoton sürüş durumu ve belirlenmiş parlak denilen sabitleme noktaları ile sürücünün trans haline geçmesi olarak tanımlanmıştır.Ayrıca bu çalışmada hipnoz olduğu düşünülen sürücülere karmaşık sürüş problemleri gösterilmiş olup bu problemlere verdiği tepkiler incelenmiştir. Araştırmacı bu trans adı verilen halin olumsuz etkilerini en aza nasıl indirebileceği üzerine tartışmalar gerçekleştirmiştir. 1963 senesinde gerçekleştirilen bu çalışma çağının çok ötesinde olmak ile birlikte yol hipnozunun taşıt sayısının nispeten az olduğu o dönemde dahi önemli bir konu olması ve gerek öneminin gerekse de risklerinin araştırmacı tarafından öngörülebilmiş olmasını göstermekte ve açıklamaktadır[1].

Yol hipnozu konusu uluslararası araştırmacılar tarafından o kadar değerli bir konu ki bu konu üzerine bir ön rapor dahi oluşturulmuş olup bu raporda daha önceki çalışmalar üzerine tartışılmıştır. Bu araştırmalardaki teknolojik gelişmeler günümüz şartları ile aynı olmasa dahi günümüz gelişen teknolojilerinde de bu yöntemler kullanılmıştır. Bu yöntemlerin başlıcaları; göz aktivitesini ölçmek adına göz kapağına yerleştirilen aktivite takip raporları, günümüz sürücü eğitim kurslarının nertedeyse tamamında karşılaşabileceğimiz oto sürüş

simülasyonları, yol hipnozunun monotonluk ve uyuşukluk hali olarak düsünüldüğünden kas gerginliğindeki azalma hali ve EEG alfa verileri kullanılmış olup bu yöntemlerin tamamı halen yol hipnozunu açıklamak adına kullanılan parametrelerdir [2].

Yol hipnozu her ne kadar tüm sürücüleri etkilese de 1970 senesinde yayınlanan bir çalışmada çok kısa yolculuk etse dahi uykuya dalıp yol hipnozuna yakalanan bir kişi denek olarak ele alındı. Bu kişi çok sık yol hipnozuna yakalandığından bu kişinin tedavisi üzerine bir çalışma yürütüldü. Bu kişinin tedavisi 18 hafta sürmüş olup tedavi sonunda sürücünün 2 ve 6 saat hiç durmadan araç kullansa dahi yol hipnozundan etkilenmediği kanıtlanmıştır. Tedavide kullsnılsn yöntrm ise araştırmacılar tarafından şu şekilde açıklanmıştır: Kişinin derin kas gevşemeleri tespit edildiğinde kendisine gösterilen sahneleri anlatması istendi bunun ardından kişiye uyanıklık ve heyecan verici sahneler gösterilerek uyanıklık halinin devamı sağlanmaya çalışıldı. Görüldüğü üzere yol hipnozunun açıklanmasında gerçek kişinin kullanılması oldukça eski tarihlere dayanmaktadır [3].

Wertheim tarafından otoyol hipnozunun açıklanması adına deney yapılmış olup bu deneyde göz hareketlerinin yol hipnozu üzerindeki önemine dikkat çekilmeye çalışılmıştır. Araştırmacı döneminin teknolojik değerlerini kullanarak sürücünün yol hipnozuna yakalanmadığını kanıtlamak için belirli göz hareketlerini gerçekleştirmesi gerektiğini ifade etmiştir. Bu da görsel sinyallere verilen tepkinin hızına, çevresel uyarıları ve hareketleri algılama ve uyanıklık halini sürdürme yani EEG alfa aktivitesinin olması ile alakalıdır [4].

Weirtheim'in çalışması ve yol hipnozunu açıklamada kullandığı (EEG alfa verileri ve göz aktivitesi) konular bu ulaştırma sorununu çözmek açısından o kadar değerli görülmüş ki aradan seneler geçtikten sonra gelişen teknoloji kullanılarak bu çalışma ile alakalı yeni kanıtlar elde edilmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada ana ve tali yolların yol hipnozunu açıklamak adına farklılıklara sebep olacağı ortaya konmuş olup otoyol ve geleneksel yollardaki göz izleme aktiviteleri, EEG alfa değerlerininde uyku-uyanıklık farklılıklarının olup olmadığı değerlendirilmiştir. Buna ek olarak bu 2 yol çeşidi karşılaştırıldığından Weirtheim'in hipotezinin sürüş başladıktan bir sure sonra yol hipnozu oluştuğu fikrini desteklediklerini ancak otoyollardaki uyku halinin geleneksel yollara nazaran dahab çok olduğu ancak ilk sürüş deneyiminde böyle bir kanıta rastlanmadığından Weirtheim hipotezini kısmen destekleyen bir çalışma yaptıklarını öne sürmüşlerdir[5].

Seneler öncesinde yapılmış bu çalışmalar bize göstermektedir ki EEG alfa verileri ve göz hareketleri ile yol hipnozu tanımlanabilmektedir. Gerek gelişen teknoloji gerekse de hipnozun psikoloji ve tıp alanında bu denli yer edinmişliği yol hipnozunun açıklanabilmesi içinde yaşanan eş konu gelişmeleri olmuştur. Geçmişte yapılmış göz kapağının üstüne konarak göz hareketlerindeki azalmadan yol hipnozunun tayin edilmesi 2018 yılında gerçekleştirilen çalışma ile teknolojinin yol hipnozunun tayinindeki rolünü açıkça göstermektedir. Bu çalışmada göz üstüne/göz kapağına konarak hareketliliği izlemek göze bir ağırlık uyguladığından baskıya sebebiyet verecek ve kesin doğru yargıdan bizi uzaklaştıracaktı. Bu

sebeptendir ki yaptıkları bu çalışmada göz bebek çapı ve göz hareketleri gerek sürüş simülasyonları gerekse de gerçek sürüş deneyimleri ile görüntü olarak izlenmiştir. Böylece uyanıkken uyanık hipnoz değeri ve tam hipnoz halinde göz kırpma süresinin anlamlı olarak farklı olduğu sonucuna ulaşıldı.Aynı çalışmada elektroensefologram değerlerine de bakılmış olup bu değerlerli kas gevşemelerinden elde etmişlerdir. Simülasyon tabanlı ve gerçek sürüş deneyimlerinden yararlanılan bu çalışma önceki çalışmaların toplam kanıtı haline gelmiştir[6]. Geleneksel yol üzerinde gerçekleştirilen bu simülasyon tabanlı çalışmanın ardından monoton sahne olarak adlandırılan otoban sürüşleri(yol hipnozuna sebep olan durum otoban sürüşlerinin sebep olduğu monotonluktur ve bu sebepten bu hipnozun digger adı otoban hipnozudur)üzerine bir yol hipnozu tayini gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. Bu çalışma da yine simülasyon tabanlı olup temel bileşen analizi ve uzun kısa süreli bellek ağı yöntemi kullanılmıştır. Öyleki günümüz popular teknolojik yöntemlerinden makine öğrenmesinin bir yöntemi olan KNN en yakın komşu yöntemi de kullanılarak simülasyonlu sürüş deneyimlerinde %93.27 gerçek sürüş deneyimlerinde ise %97.01 gibi yüksek doğruluk değerleri ile yol hipnozunun bu yöntemlerle kanıtlanabildiğini göstermektedir.Bu çalışmada aktif göz izleyici cihaz kullanılmış olup yol hipnozunun açıklanması için çok önemli bir çalışma konumundadır [7].

Yol hipnozu birçok farklı isimle anılmaktadır. Bunlardan bazıları otoyol hipnozu, karayolu hipnozu, monotonluk gibi olsa da 2023 yılında yapılan bir çalışmada beyaz çizgi ismiyle anılmıştır. Yazarlar tarafından bu isimle anılan yol hipnozu bu çalışmada bir veri tabanlı literatür taraması biçiminde incelenmiştir. Ayrıca bu çalışma daha önceki çalışmaların incelenmesi konumunda olduğu için yol hipnozunu etkileyen faktörler ve önleme çalışmaları gibi bilgiler tek kalemde ele alınmıştır. Yazarlar tarafından yol hipnozunu etkileyen faktörler monoton/sonsuz yol(otoban), kötü uyku, uykusuzluk, zihnin yoğun olmasından ötürü dikkatsizlik gösterilirken yol hipnozunun semptomları arasında uykusuzluk, düşük konsantrasyon, baş dönmesi hissi, düşük göz aktivitesi ya da sık göz kırpma, mental karmaşıklık, yavaşlayan reaksiyon süresi sayılmaktadır. Bunun yanında araştırmacılar tarafından bu hipnoz türünü önleme yöntemleri ele alınmıştır.Bunlar ara verme, biraz kafein alımı, çevresel uyarılar, hafif yiyecek alımı ve uyku sağlığına dikkat edilmesidir[8].

Görüleceği üzere birçok araştırmacı yol hipnozunun nasıl tespit edilebileceği ve önleme yöntemleri üzerinde durmuştur. Bunun yanında sürüş fizyolojik özelliklerimizinde yol gipnozuna olan etkisi ve fizyolojik özelliklerimiz ile yol hipnozunun bağlantısı incelenmiştir. Fizyolojik açıdan yol hipnozunu açıklamaya çalışan araştırmacılar bunun için oldukça çeşitli yöntemlere başvurmak zorunda kalmışlardır. Bu yöntemler anabileşen analizi, EKG-EMG verileri, doğrusal ayrımcı analiz, kuadratik ayrımcı analiz ve KNN modelleri olmuştur. Günümüz popüler yöntemlerini kullanılarak açıklanmak isteyen araştırmacılar çalışmalarında araç simülasyonları ve gerçek sürüş deneyimlerini kullanmıştır. Aynı araştırmacılar daha önce gerçekleştirdikleri çalışmalarda sürücünün deneyimli oluşu ve aynı aracı sıklıkla kullanmasının yol hipnozu riskini arttırdığını belirtmiştir. Bu çalışmalarında ise 50 kişilik bir

denek grubu oluşturup onları 30-40, 41-50, 51-60 yaş aralık değerlerine göre gruplandırmıştır. Buna ek olarak bu kişileri 10-15, 16-20, 21-32 senelik sürücü olarak da kategorize etmişlerdir. Ekipman olarak da daha önce bir çok araştırmacının kullandığı göz hareketi izleme cihazı kullanılmış ve tüm sürüş deneyimi video altına alınmıştır. Yol hipnozunu sadece fizyolojik açıdan ele almak isteyen araştırmacılar simülasyonla gerçekleştirilen çalışma aşamasında tüm sürücülerin eşit hızda (120 km/s), aynı yollarda, eşit uyku süresiyle ve aynı saatte sürüş deneyimi gerçekleştirmelerini istemiştir. Gerçek sürüş deneyimi aşamasında ise tüm sürücüler aynı güzergah, eşit uyku süresi, eşit hız (80 km/s) ve aynı uzunluktaki yolda (36 km) araç kullanmıştır. Gerçek sürüş deneyiminde kullanılan 50 sürücü arasından gerek rahatsız sürüş pozisyonu gerekse de fiziksel yorgunluk etkilerinden ötürü yalnızca 35 denek verisi kullanılabildi. Bu 35 temiz sürücü verisinden 25'i normal araç sürüş durumu ve 10 yol hipnozuna yakalanmış sürüş durumu verisidir. Simüle edilmiş sürüş deneyiminde ise 7 kişinin verisi çeşitli nedenlerden ötürü kullanılmayıp 43 kişinin videosu kullanıldı. Yapay sinir ağları ve derin öğrenme gibi bazı yöntemler ile parallel olarak bu temiz sürüş verilerinden %70'i train verisi olarak ele alınırken %30'u test verisi olarak kullanıldı. Bu sebepten 27 veri normal sürüş 16 veri ise yol hipnozuna yakalandığı düşünülen veriler şeklinde ayrıldı. Çalışmalar bu hesaplamalarla da sınırlı kalmayarak EKG sinyali ile kalp atışı değerlerine bakılırken EMG sinyalleri ile de kas yoğunluğu ve kas hareketliliği incelendi. Sürüşün fizyolojik yönlerinin gerçek bireyler üzerindeki etkisinin incelendiği bu çalışmalar dışardan gelen(sürücünün telefonunun çalması, yaya geçişi, hayvan geçisi, tarafik ışıkları gibi)uyarılara karşı uyku halinden çıkış ve uyanıklık haline geçiş olarak tespit edilmiştir. Bunun yanında sürücünün yaş, sürüş deneyimi, kişiliği ve sürüş eğitimi gibi kişinin fizyolojik özelliklerinin; sürücünün dikkatsizliği, sürüş yorgunluğu, duygu gibi tehlikeli sürüş davranışlarının da yol hipnozuna etkisi olduğu belirtilmiştir[9,10,11,12,13,14,15,16,17].

Sürüş fizyolojik özelliklerinin yol hipnozu üzerindeki etkisi incelendikten sonra aynı araştırmacılar tarafından sürüş biyolojik özelliklerin yol hipnozu üzerindeki etkilerine bakılmıştır. Gerçek ve sanal sürüş deneyimleri verilerine dayanan çalışmada göz aktivitelerine ek olarak kişinin biyoelektrik değerlerine de bakılmıştır. Biyoelektrik verilerini kısaca vücudumuzun enerjisi olarak tanımlayabiliriz. Kişinin biyoelektrik verilerini incelerken tüm sürücüler için eş monotonlukta yol güzergahlarında sürüş deneyimi yaşamaları sağlanmıştır. Gerçek ve sanal sürüş arasında çok fark saptanamamak ile birlikte yaya geçişi gibi dış etkenler ortadan kaldırıldığında dış sürüş deneyiminin simülasyon ile gerçekleşen sürüş deneyimi biyoelektrik verilerinin neredeyse aynı olduğu kanısına varılmıştır. Bu çalışma sonunda ise biyoelektrik verilerin yol hipnozunu etkilediği sonucuna varılmıştır[18].

EEG verilerinin yol hipnozu tespitindeki önemli etkisi elbetteki yadsınamayacak konumdadır. Bundan dolayıdır ki birçok yol hipnozu araştırmacısı EEG verirlerinden yararlanarak yol hipnozunu açıklama yoluna girmiştir. Yol hipnozunu biyolojik ve fizyolojik açıdan ele alan bir grup araştırmacı sürücülerin EEG verilerine gerek simüle edilmiş gerekse de gerçek sürüş deneyimlerinden yararlanarak ulaşmıştır. Toplanan EEG verileri güç spectral yoğunluk isimli

bir yöntem ile ön işleme tabi tutuldu. %93.01 gibi oldukça yüksek bir doğruluk değeri ile sonuçlanan bu çalışma EEG verilerinin yol hipnozunu tanımlamakta en öncelikli yöntem olduğunu bir kez daha kanıtlamaktadır[19].

Görüldüğü üzere bir çok araştırmacı yol hipnozunu açıklamaya çalışmıştır. Son olarak Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Enstitüsü tarafından yayımlanan yol hipnozunu tespit ve önleme üzerine bir system geliştiren yayın hazırlanmıştır. Bu yayına ve içerisindeki çalışmalara gore bilgisayar yardımlı görüş teknikleri kullanılarak otoyol hipnozu semptomlarını hipnoza yakalanır yakalanmaz bilgisayar tarafından farketmek ve sürücüyü uyararak otoyol hipnozu semptomlarını hipnoza yakalanır yakalanmaz bilgisayar aracılığı ile farketmek ve sürücüyü uyararak otoyol hipnozundan kaynaklanan kazaları en minimuma indirmek amaçlanmaktadır[20].

Bu çalışma ile birlikte oldukça kısa bir zaman sonra daha gelişmiş bir algılama sistemi ile artık tüm araçlarımızın sürücüsünü tanıyan ve yol hipnozuna yakalandığında tespit eden bir konumda olacağı kanaatine varmak zor olmasa gerek.

SONUÇ (CONCLUSION)

Monoton sürüşler sonrasında sıkça karşılaşılan yol hipnozunun ulaştırma mühendisliğindeki önemi incelenen makalelerde de görüleceği üzere yadsınamaz. Yol hipnozunu tayin etmede araştırmacılar tarafından kullanılan ve olumlu sonuç elde edilen yöntemler: EEG verileri, EKG verileri, EMG verileri, biyoelektrik parametreler ve göz aktiviteleridir. Bu hipnoz biçimini önlemek için araştırmacıların önerileri hijyenik ve yeterli uyku, yeterli ara dinlenmelerinin sürücüler tarafından uygulanması gerekliliği belirtilmiştir. Halen tamamen çözülebilir olmayan bu problem son dönemde araştırmacıların dikkatini çekmesinden ötürü araştırma sayısını arttırmıştır. Bu da bu problemin bir sure sonra hayatımızdan çıkacağına dair umut vaad etmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

Williams, G. W. (1963). Highway hypnosis: An hypothesis. International Journal of Clinical and Experimental Hypnosis, 11(3), 143-151.

Shor, R. E., & Thackray, R. I. (1970). A program of research in “highway hypnosis” a preliminary report∗. Accident Analysis & Prevention, 2(2), 103-109.

Suinn, R. M., & Richardson, F. (1970). Behavior therapy of an unusual case of highway hypnosis. Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry, 1(2), 175-176.

Wertheim, A. H. (1978). Explaining highway hypnosis: Experimental evidence for the role of eye movements. Accident Analysis & Prevention, 10(2), 111-129.

Cerezuela, G. P., Tejero, P., Chóliz, M., Chisvert, M., & Monteagudo, M. J. (2004). Wertheim’s hypothesis on ‘highway hypnosis’: empirical evidence from a study on motorway and conventional road driving. Accident Analysis & Prevention, 36(6), 1045-1054.

Wang, S. Y., Chen, C., & Zhou, H. (2018, July). Simulation-Based Research on the Comprehensive Indexes for Highway Hypnosis Evaluation. In 18th COTA International Conference of Transportation Professionals (pp. 2076-2086). Reston, VA: American Society of Civil Engineers.

Shi, H., Chen, L., Wang, X., Wang, B., Wang, G., & Zhong, F. (2023). Research on recognition of road hypnosis in the typical monotonous scene. Sensors, 23(3), 1701.

Manikandan, S., & Vijayan, L. (2023). The White Line Fever; A Great Peril":'Exploring the Less Addressed Psychological Phenomenon, Highway Hypnosis. International Journal of Indian Psychology, 11(3).

Wang, XY; Liu, YQ; Guo, YQ; Xia, YY; Wu, CZ Sürücü eğiliminin dinamik evrimi altında araç kümesi durumlarının dönüşüm mekanizması. Transp. Res. F **2019** , 65 , 665–684.

Wang, XY; Liu, YQ; Wang, JQ; Zhang, JL Sürücü eğiliminin seçimini etkileyen faktörler üzerine çalışma. Transp. Res. D **2019** , 66 , 45–48.

Kaber, D.; Jin, S.; Zahabi, M.; Pankok, C. Sürücü bilişsel yeteneklerinin ve dikkat dağıtıcı unsurların tehlike koşullarında durum farkındalığı ve performans üzerindeki etkisi. Transp. Res. F **2016** , 42 , 177–194.

Alexey, K.; Roman, S.; Christian, K.; Alexander, S. Sürücü dikkat dağıtma tespit yöntemleri: Bir literatür incelemesi ve çerçeve. IEEE Access **2021** , 9 , 60063–60076.

Yan, Y.; Yuan, HZ; Yang, XL; Liu, G.; Guo, ZY; Wang, L. Çok kaynaklı verilere dayalı monoton yol ortamı ve sürüş yorgunluğu arasındaki ilişkinin bir modeli. China J. Highw. Transp. **2021** , 34 , 156–167.

Salvati, L.; d'Amore, M.; Fiorentino, A.; Pellegrino, A.; Sena, P.; Villecco, F. Orta mesafeli yolculuklar sırasında sürücü yorgunluğunun ve uyuşukluğunun yolda tespiti. Entropi **2021** , 23 , 135.

Wang, XY; Liu, YQ; Wang, F.; Wang, J.; Liu, L.; Wang, J. Özellik çıkarma ve sürücülerin duygularının dinamik olarak tanımlanması. Transp. Res. F **2019** , 62 , 175–191.

Liu, YQ; Wang, XY Farklı duygusal durumlar altında sürücünün davranışsal eğiliminin Bayes Ağı'na dayalı analizi. IEEE Trans. Affect. Comput. **2023** , 14 , 165–177.

Wang, B., Shi, H., Chen, L., Wang, X., Wang, G., & Zhong, F. (2023). A Recognition Method for Road Hypnosis Based on Physiological Characteristics. Sensors, 23(7), 3404.

Chen, L., Wang, J., Wang, X., Wang, B., Zhang, H., Feng, K., ... & Shi, H. (2024). A road hypnosis identification method for drivers based on fusion of biological characteristics. Digital Transportation and Safety, 3(3), 144-154.

Wang, B., Wang, J., Wang, X., Chen, L., Zhang, H., Jiao, C., ... & Feng, K. (2024). An identification method for road hypnosis based on human EEG data. Sensors (Basel, Switzerland), 24(13), 4392.

Dutta, P., Ronrang, S., Begum, M., Saikia, S. J., & Bordoloi, H. (2024, June). Highway Hypnosis Detection and Prevention System. In 2024 6th International Conference on Energy, Power and Environment (ICEPE) (pp. 1-6). IEEE.

KARAYOLU HİPNOZUNUN YAPAY SİNİR AĞLARI VE REGRESYON ANALİZLERİ İLE İNCELENMESİ

EXAMINATION OF HIGHWAY HYPNOSIS WITH ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS AND REGRESSION ANALYSES

TUĞÇE SONGUR KAHRAMAN

İskenderun Teknik Üni. Mühendislik ve Doğa Bil. Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü, 31200, İskenderun/Hatay

Iskenderun Technical University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Civil Engineering, 31200, Iskenderun/Hatay

ORCID ID: 0000-0001-6433-1878

ÖMER FARUK CANSIZ

Dr. Öğr. Üyesi., İskenderun Teknik Üni. Mühendislik ve Doğa Bil. Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü, 31200, İskenderun/Hatay

Assist. Prof. Dr, Iskenderun Technical University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Civil Engineering, 31200, Iskenderun/Hatay

ORCID ID: 0000-0001-6857-2513

ÖZET

Ülkemizde en çok tercih edilen ulaştırma türü karayolu ulaştırmasıdır. Bu çalışmada da karayolu ulaştırmasında yaşanan yol hipnozu diğer bir isimle otoban hipnozu incelenmiştir. Yol hipnozu sürücülerin farkında olmadan taşıtını kullanabilme durumudur. Farkında olmadan araç kullanan sürücü çevresindeki uyarılara daha kayıtsız olduğundan dolayı kaza yapma ihtimali de artmaktadır. Bu çalışmanın amacı yol hipnozunu önceden tespit edilebilirliğini ve bunun sonucunda da yol hipnozuna yakalanan sürücülerin kaza yapmasının engellenebilme ihtimalinin olup olmadığını incelemektir. Hazırlamış olduğum çalışmada anket yöntemiyle veri edinilmeye çalışılmış olup tutarlı değerlere sahip 22 adet gerçek kişi verisi kullanılmıştır. 22 gerçek kişinin sürüş deneyimi baz alınarak hazırlanmış olan çalışmamda yapay sinir ağları ve regresyon modelleri ele alınarak incelenmiştir. Yapay zekâya işlenen bu veriler sonucunda farkında olmadan araç kullanma durumu ile sürücünün yaşı, uyku süresi ve hızı arasındaki regresyon değeri 0.98 çıkmış olup bu regresyon ifadesinin bu denli yüksek çıkması bize farkında olmadan araç kullanma durumunun sürücünün yaşı, hızı ve uyku süresi ile bağlantılı olduğunu ve fark edilebildiğini göstermektedir. Bu bulgular neticesinde sürücünün yol hipnozuna yakalandığı rastgele bir zaman diliminde uyarılarak değil de kişinin yaşı, uyku süresi ve hızı ile bağlantılı olarak uyarılma anının hesaplanması, uyarılması ve bu uyarımın sonucunda yol hipnozundan kaynaklanabilecek olası her türlü kazanın önüne geçilmesine öncülük edeceğine inanmaktayım.

Anahtar Kelimeler: Karayolu hipnozu, Regresyon Analizi, Yapay Sinir Ağları

ABSTRACT

The most preferred type of transportation in our country is road transportation. In this study, road hypnosis, also known as highway hypnosis, experienced in road transportation was examined. Road hypnosis is the state of drivers using their vehicles without being aware of it. Since drivers who drive without being aware are more indifferent to the warnings around them, the possibility of having an accident also increases. The aim of this study is to examine whether road hypnosis can be detected in advance and, as a result, whether it is possible to prevent drivers who are caught in road hypnosis from having an accident. In the study I prepared, data was obtained by survey method and 22 real person data with consistent values were used. In my study, which was prepared based on the driving experience of 22 real people, artificial neural networks and regression models were examined. As a result of this data processed into artificial intelligence, the regression value between the state of driving unconsciously and the age, sleep duration and speed of the driver was 0.98, and this high regression expression shows us that the state of driving unconsciously is related to the age, speed and sleep duration of the driver and can be noticed. As a result of these findings, I believe that calculating the moment of stimulation in relation to the age, sleep duration and speed of the person, rather than warning the driver at a random time period when he/she is caught in road hypnosis, and warning him/her, and preventing any possible accidents that may arise from road hypnosis as a result of this stimulation, will lead to the prevention of such accidents.

Keywords: Highway hypnosis, Regression Analysis, Artificial Neural Networks.

SÜRDÜRÜLEBİLİR İNŞAAT İÇİN YAPI BİLGİ MODELLEMESİNİN KULLANILMASI

USING BUILDING INFORMATION MODELING FOR SUSTAINABLE CONSTRUCTION

Nihal BENLİ
M.D., Duzce University, Faculty of Engineering, Department of Composite Material
ORCID ID: 0000-0002-3936-1044

Latif Onur UĞUR
Assist. Prof. Dr., Duzce University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering
ORCID ID: 0000-0001-6428-9788

ÖZET

Sürdürülebilir inşaat kavramı, en az çevresel etkiyle en yüksek düzeyde sosyal ve ekonomik kalkınma sağlamaktır. Sürdürülebilir inşaat yapabilmek için yeşil yapı malzemelerin kullanılması öne çıkmıştır. Bunun nedeni çevre dostu, sağlıklı uygulanabilmesi ve hatta iç mekan hava kalitesini artırmasıdır. Bunun için birçok yöntem disiplinler arası kullanılması gerekmektedir. Bunlar; Yapı bilgi modelleme (BIM) inşa edilecek binanın ilk tasarım aşamasından hizmet dönemine ve bu hizmet döneminin sonuna kadar olan bir süreci içermektedir. Yaşam döngüsü değerlendirmesi (LCA), bir yapının yerinde üretim, kullanım ve yıkım aşamalarını kapsayan, sürdürülebilir bir dünya için geleceğe yapılan önemli bir yatırım olmaktadır. Yalın inşaat, katma değeri olmayan faaliyetleri ortadan kaldırması ve inşaat sürecinde değer sunumunu artırmaya çalışmasıyla ünlüdür ve kaynakların etkin kullanımını kolaylaştırmak için muazzam bir potansiyele sahip olduğu düşünülmektedir. Bu çalışmada üç boyutlu olarak tasarlanan bir dubleks konut yapısı, Yapı Bilgi Modelleme esaslarına göre tasarlanmış; sürdürülebilir inşaat ve kullanım faaliyetlerine uygunluğu açısından Yaşam Döngü Değerlendirmesi yapılarak analiz edilmiştir. Yapılan hesaplamalarda tasarlanan yapının LCA'ya göre çevresel etkileri; ürün aşaması, inşaat aşaması, kullanım aşaması, yaşam sonu aşaması ve yeniden kullanım aşaması bazlarında bulunmuştur. Yaşam Döngü Aşaması Başına küresel ısınma potansiyelleri yüzdelik olarak hesaplanmış ve çubuk diyagramlarla LCA aşamalarına göre bu yüzdeliklerin oranları ifade olarak vermiştir. Yaşam Döngü Aşaması Başına küresel ısınma potansiyeli değerleri; küresel ısınma potansiyeli 180.681 kg CO_2; asitleşme 1.912 kg SO_2; Ötrofikasyon 254,6 kg N, sis oluşumu potansiyeli 20.544 kg O_3, yenilenemeyen enerji 3.818.521 MJ olarak hesaplanmıştır. Bunların genel toplamı olan Çevresel Etki Toplamı 534,378 kg kütle olarak hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda inşaatta kullanılacak malzeme kalemleri ve miktarları ilgili yazılımların çıktıları olarak ve gerekli çevresel etkileri ile elde edilmiştir. Ülkemizde yeni kamu binalarında Yeşil Sertifika (YeS-TR) uygulamasının zorunlu hale getirecek mevzuat uygulamaya konmuştur. Özel yapılar için de

yeşil malzeme kullanılmasının teşviki gelecek için önem taşıdığından, yaygınlaştırılmasına gidilmesi gerekmektedir. Yapılan çalışmalar ve edinilen bulgular bu alanda kanun koyuculara ve sektör uygulamacılarına örnek ve dayanak teşkil edebilecektir.

Anahtar Kelimeler: BIM, LCA, Sürdürülebilir İnşaat, Tally programı

ABSTRACT

The concept of sustainable construction is to achieve the highest level of social and economic development with the least environmental impact. The use of green building materials has come to the fore to make sustainable construction. This is because it is environmentally friendly, can be applied healthily and even improves indoor air quality. For this, many methods need to be used interdisciplinary. These; Building information modeling (BIM) includes a process from the initial design stage of the building to be built to the service period and the end of this service period. Life cycle assessment (LCA) is an important investment in the future for a sustainable world, covering the on-site production, use and demolition stages of a building. Lean construction is renowned for eliminating non-value-added activities and seeking to increase value proposition during the construction process and is considered to have tremendous potential for facilitating the effective use of resources. In this study, a duplex housing structure designed in three dimensions was designed according to the principles of Building Information Modeling; It has been analyzed by making a Life Cycle Assessment in terms of its suitability for sustainable construction and use activities. In the calculations, the environmental impacts of the designed structure according to LCA; product phase, construction phase, use phase, end-of-life phase and reuse phase. Global warming potentials per Life Cycle Stage were calculated as percentages and the ratios of these percentiles according to LCA stages were expressed with bar diagrams. Global warming potential values per Life Cycle Stage; global warming potential 180,681 kg CO_2; acidification 1,912 kg SO_2; Eutrophication was calculated as 254.6 kg N, fog formation potential was 20,544 kg O_3, non-renewable energy was calculated as 3,818,521 MJ. The total of these, the Environmental Impact Total, was calculated as 534,378 kg of mass. As a result of the study, the material items and quantities to be used in the construction were obtained as the outputs of the relevant software and with the necessary environmental impacts. In our country, legislation has been put into practice that will make the Green Certificate (YeS-TR) application mandatory in new public buildings. Since the promotion of the use of green materials for private buildings is important for the future, it should be expanded. The studies and findings obtained can serve as an example and basis for legislators and sector practitioners in this field.

Keywords: BIM, LCA, Sustainable Construction, Tally program

GİRİŞ

Büyük şehirler, küresel enerjinin yaklaşık %70'ını tüketerek iklim değişikliğine büyük oranda rol oynamaktadır (Harter,2017). Özellikle yapı sektörü, AB (Avrupa Birliği) ve ABD(Amerikan Birleşik Devletler)'de sera gazı emisyonlarının %36-38 'ine neden olmakta, AB'deki enerji tüketiminin %40'ını oluşturmakta ve AB ve ABD'deki hammaddelerin yarınını tüketmektedir (Ozcan-Deniz,2017; URL-1,2018). AB'nın genel ideal politikası; 2030 yılına kadar yapı sektöründe sera gazı emisyonlarının 2015 yılına kıyasla en az %60 oranında azaltılması ve 2050 yılına kadar karbondan arındırılmış, sıfır emisyonlu bir bina stokuna ulaşılması hedefine katkıda bulunmaktadır (URL-2,2025). Türkiye'de nihai enerji tüketiminin yüzde 37'sini kullanan ve sera gazlarının yüzde 30'undan sorumlu yapı sektöründe sürdürülebilirlik kapsamında yeşil bina kavramları son zamanlarda öne çıktı (URL-3,2020) Bu hedefe ulaşılması için teknolojiden faydalanmak amaçlanmaktadır.

Yapıların dijital modellerinin üretilmesi yoluyla sürdürülebilir inşaat hedeflenmektedir (Santos ve ark., 2019). Yapı Bilgi Modellemesi (BIM) kuralların kontrol edilmesiyle tasarım hatalarını en aza indiren bir yöntemdir. Sürdürülebilirlik açısından BIM alanı bir istisna değildir. Mevcut literatür Yaşam Döngü Değerlendirmesi (LCA)(Santos ve ark.,2019)ve Yalın İnşaat (LC) gibi (Soust – Verdaguer ve ark., 2017; He ve Wang, 2015) belirli metotlara ve süreçlere ya da sertifikasyon programlarına dayanan BIM potansiyelinin kullanılmasına öncelikle önem verilmelidir. (Saieg ve ark., 2017).

İnşaat sektörü çevre dostu yaklaşımları benimsemesi için ciddi bir baskı altındadır ve çevresel sorumluluklar günümüzde rekabet avantajı olarak görülmektedir (Baloi, 2003). Bunun yanı sıra; Küresel sera gazı emisyonlarının %39'undan sorumlu olan inşaat ve yapı sektörü, Yapı Bilgi Modellemesi (BIM) sayesinde temel bir dijitalleşmeye geçirmiştir. Bu dijitalleşmenin yaşam döngü analiziyle projenin erken aşamasında bütünleşik ele alınması dünya yararınadır. Ayrıca toplum sağlığı için de önemlidir (Schumacher ve ark., 2022). Yaşam döngü değerlendirme (LCA), yapıların yaşam döngüleri boyunca çevresel etkilerini tahmin etmek için güçlü bir araç olarak kabul edilmektedir (Russell-Smith ve ark, 2015). Bu araç, BIM objeleriyle birleştiğinde yapı sektörünün iş akışı için önemli faktör haline gelmektedir (Wastiels ve Decuypere, 2019).

Sürdürülebilir inşaat

Sürdürülebilir inşaat kavramı, en az çevresel etkiyle en yüksek düzeyde sosyal ve ekonomik kalkınma sağlamaktır (Antón ve Díaz, 2014). Antón ve Díaz'ın (2014) çalışmasında, sürdürülebilir inşaat kavramında, LCA'nın sadece sona doğru algılanan katkısı projenin tasarım aşamasından itibaren projeye katılması gerektiği belirtilmiştir. Sürdürülebilir inşaat, sürdürülebilir kalkınmanın inşaat sektörüne uygulanan bir alt kümesi olarak görülmektedir. Bu alt sektörde; geleneksel yaklaşımı, yeniliklerin ve yatırımların ekonomik büyümeyi tetiklediği ve tüketicilerin ihtiyaç ve isteklerinin karşılandığı önermesine dayanmaktadır.

Ancak sektörün ürün ve süreçlerinin çevre üzerinde ciddi sonuçları olduğunu kabul etmek gerekmektedir (Baloi, 2003).

Yeşil yapı malzemeleri

Sürdürülebilir inşaat yapabilmek için yeşil yapı malzemelerin kullanılması öne çıkmıştır. Çevre dostu, sağlıklı uygulanabilmesi ve hatta iç mekan hava kalitesini artırılır. Bununla birlikte ortamdaki insanların tehlikeli ve zararlı maddelere maruz kalma riskini azaltır (Maleknia, Parcsi ve Stuetz, 2014).

Dünya çapında düşünüldüğünde yeşil malzemeler, çevresel yükü azaltan ve hammadde kabulü, üretimi kullanımı veya geri geri dönüşümü ve atık bertarafı aşamasında insan sağlığına iyi gelen malzemelerdir (Vaidya, ve ark., 2023).

Örneğin; kullanılan yeşil yapı malzemelerini ele alırsak; geliştirilmiş köpük cam, yeşil duvarlar, ekolojik çimento, yeşil betonlu duvar yapımının kompozit malzemeler ve geri dönüştürmeye odaklı malzemeler gibi pratik yeşil yapı malzemeleri olarak değerlendirilebilir (Wei,Wee, Sarpin ve Shafii, 2024)

Yapı bilgi modelleme (BIM)

BIM sadece 3 boyutlu grafiksel bir hesaplama aracı değil, aynı zamanda hem grafiksel hem de grafiksel olmayan verileri entegre eden işbirlikçi bir ortamdır. BIM esasen mimarlar, mühendisler, yükleniciler, işverenler, müşteriler, bu disiplinler arasında bilgi alışverişinin iletişim gürültüsü olmadan paylaşılmasını içerir (Kocakaya vd., 2019). Azhar (2011) tarafından yapılan çalışmada, BIM'in sadece 3D akıllı modeller üretmekten ibaret olmadığı belirtilmiştir. BIM, inşa edilecek binanın ilk tasarım aşamasından hizmet dönemine ve bu hizmet döneminin sonuna kadar olan bir süreci içermektedir. Bu yüzden de, Azhar "entegre proje yönetimi" kavramını geliştirdi. Bu kavram, etkinlik, verimlilik, performans ve atık azaltma açısından en iyi sonucu elde etmesini içerir.

Bina bilgi modellemesinin kullanılmasının nedeni, 5D (maliyet hesabı) ilk yatırım maliyetlerinin 3D (parametrik modelleme) modelleme ile bilgilerin birleştirilerek hesaplanmasıdır. Ayrıca işletme maliyetleri genişletildiğinde 7D (Tesis yönetimi) BIM projesi kapsamında uygulanmaktadır (Pučko ve ark., 2020).

Özellikle mimarlar, mühendisler ve yükleniciler arasındaki bilgi alışverişi ile büyük bir bilgi havuzu oluşmaktadır (Halfawy ve Froese, 2007). Cook, proje yönetiminde ekip çalışmasının oluşturulmasına vurgu yapmıştır (Cook, 1977; Hornstein, 2015). Ekip çalışması proje yönetimi konusunda yeni bir dönem açmaktadır. Artık bu özelliği destekleyecek yazılımlar geliştirilmektedir.

ISO 19650 standartları, bilgi yönetimi süreçlerini ve teknik çözümleri destekleyen ulusal ve uluslararası standartlardan oluşan bir ortamın veya ekosistemin parçasını oluşturur. Bilginin endüstri standartları kullanılarak yapılandırılmasıyla birlikte çalışabilirliğin geliştirilmesine

yardımcı olur, böylece bilgi insanlar ve teknolojiyi bir arada harmanlar. Ortak veri kullanımı disiplinler arası çalışmanın verimini arttılır. (URL-6, 2020)

BIM yazılımlarından en popülerleri Autodesk Revit ve Graphisoft Archicad yazılımlarıdır (Parekh ve Trabucco, 2024). Bu çalışmada kullanım rahatlığı bakımından Revit programını tercih edilmiştir.

Yaşam döngü değerlendirmesi (LCA)

Wong ve Zhou (2015) yaşam döngü değerlendirmesi için yapının planlama ve tasarımının inşaat süreci, bakım ve onarım ve son olarak yıkım ile birlikte planlanması gerektiğini vurgulamıştır (Wong & Zhou, 2015). Yaşam döngüsü değerlendirmesi (LCA), bir yapının yerinde üretim, kullanım ve yıkım aşamalarını kapsayan, sürdürülebilir bir dünya için geleceğe yapılan önemli bir yatırım olmaktadır. Her ürünün bir girdi maliyeti ve bir de çıktı maliyeti vardır. Yaşam döngüsü değerlendirmesinde, binanın ömrünün bakım ve onarımla uzatılması gibi bazı belirsizlikler vardır. İnşaat sektöründe, yapının yıkılmasıyla atık ürünlerin bertaraf edilmesi diğer sektörlere göre daha zorlu bir aşamadır (Duru ve Koç, 2021). Bu nedenle geri dönüşüm oranları diğer sektörlere göre daha düşüktür. LCA; ISO 14040:2006 (çevresel yönetim LCA prensipleri) ve (ISO 14044:2006) (çevresel yönetim ihtiyaçları) standartlarına dayalı olarak gerçekleştirilir. (URL-4, 2024). Yapıların çevresel değerlendirmesi için EN 15978:2011 standart geliştirilmiştir. EN 15603:2008 ile de yapı enerji performansı öne alınmıştır. (URL-5,2018)

Çevresel ürün beyanı (EPD)

EPD Belgesi, bir ürünün yaşam döngüsü boyunca çevresel etkilerini şeffaf, tarafsız ve doğrulanmış verilerle sunan uluslararası bir belgedir. (ISO 14025:2006) standardına dayalı olarak hazırlanan bu belgede, ürünün ham madde temininden tutun, üretim, taşıma, kullanım ve bertaraf aşamalarını kapsayan Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA) verilerini içerir EPD'nın kullanım amacı, özellikle yapı malzemeleri, endüstriyel ürünler ve enerji sektörü gibi alanları içerir. EPD, firmaların çevresel performansını ölçerek sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmalarına yardımcı olmak için tasarlanmıştır. Bunu desteklemek için yeşil bina sertifikaları (Leadership in Energy and Environmental Design -LEED, Building Research Establishment Environmental Assessment Method -BREEAM, Yeşil Sertifika Türkiye - YeS-tr gibi) ortaya çıkmıştır. Bunlar en bilindikleridir. EPD belgesi, küresel pazarda rekabet avantajı sağlarken, tüketicilere ve paydaşlara çevresel şeffaflık sunması da amaçlanmaktadır. (URL-4,2024)

Yalın inşaat

Yalın inşaat, katma değeri olmayan faaliyetleri ortadan kaldırması ve inşaat sürecinde değer sunumunu artırmaya çalışmasıyla ünlüdür ve kaynakların etkin kullanımını kolaylaştırmak için muazzam bir potansiyele sahip olduğu düşünülmektedir. Yalın inşaat alanlarına bakıldığında %50'nın büyük bir çoğunluğu BIM kalan kısmı ise tedarik zinciri yönetimi;

kalan %50'yı ise sürdürülebilirlik, işyeri güvenliği ve inşaat endüstrileşmeyi eşite yakın bir şekilde paylaşmaktadırlar (Li ve ark.,2020)

AMAÇ VE YÖNTEM

Bu çalışmada üç boyutlu olarak tasarlanan bir dubleks konut yapısı, Yapı Bilgi Modelleme esaslarına göre tasarlanmış; sürdürülebilir inşaat ve kullanım faaliyetlerine uygunluğu açısından Yaşam Döngü Analizi yapılarak değerlendirilmiştir. Bunun için Revit programında üç boyutu bir modelleme yapılmıştır. Çalışmada Tally eklenti programıyla malzeme ihtiyacı Çevresel Ürün Beyanına (Environmental Product Declarations -EPDs) uygun olarak belirlenmiştir.

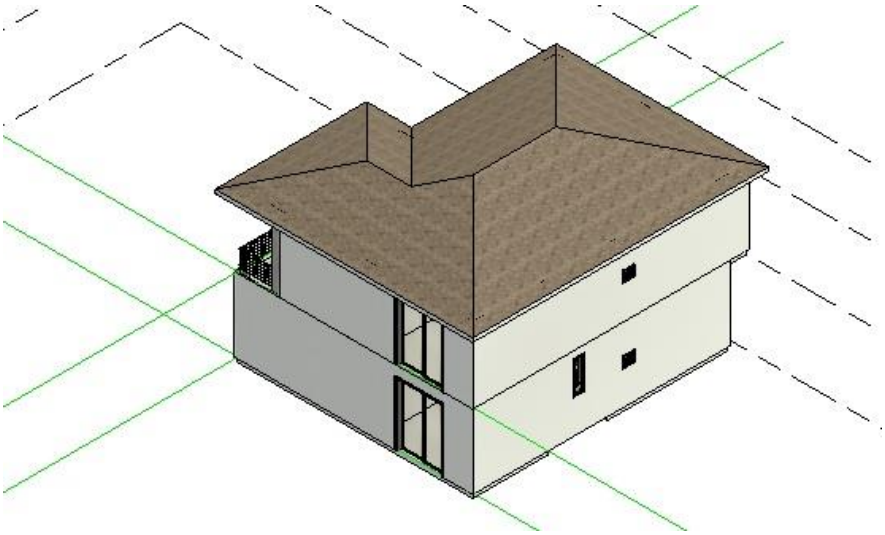
UYGULAMA

Bu çalışmada ele alınan örnek vaka kullanılmıştır. Bir gazbeton duvardan oluşan geniş açıklıkları olan çift katlı bir villa üzerinde yeşil yapı malzemelerinin kullanılması ve miktarın belirlenerek proje öncesinde hammadde ihtiyacının belirlenmesinin dünyanın doğal kaynak kullanımı açısından taşıdığı önemin vurgulanması yer alır.

Türkiye'de Düzce ilinde merkezden 4 km uzaklıkta bir dubleks villadır. Villa 5 yatak odalı 3 banyolu bir salondan oluşan iki katlı bir yapıdır. Aşağıda ön perspektiften ve arka perspektiften Revit programında yapılmış 3 boyutlarını görünmektedir. (Bakınız Şekil 20, Şekil 21)

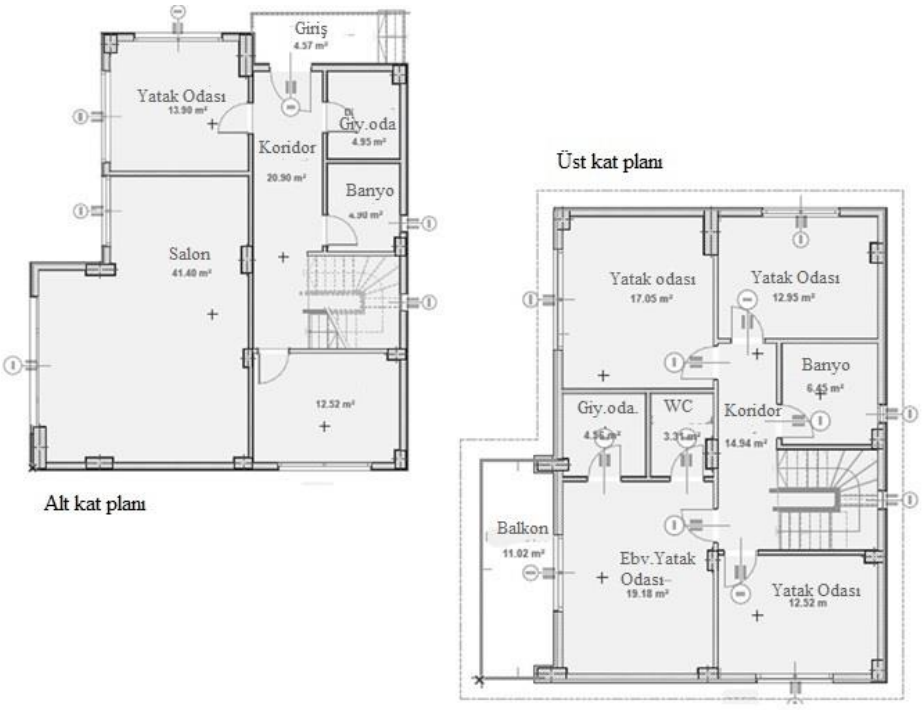


Şekil 20 Örnek villanın ön perspektiften görünüşü



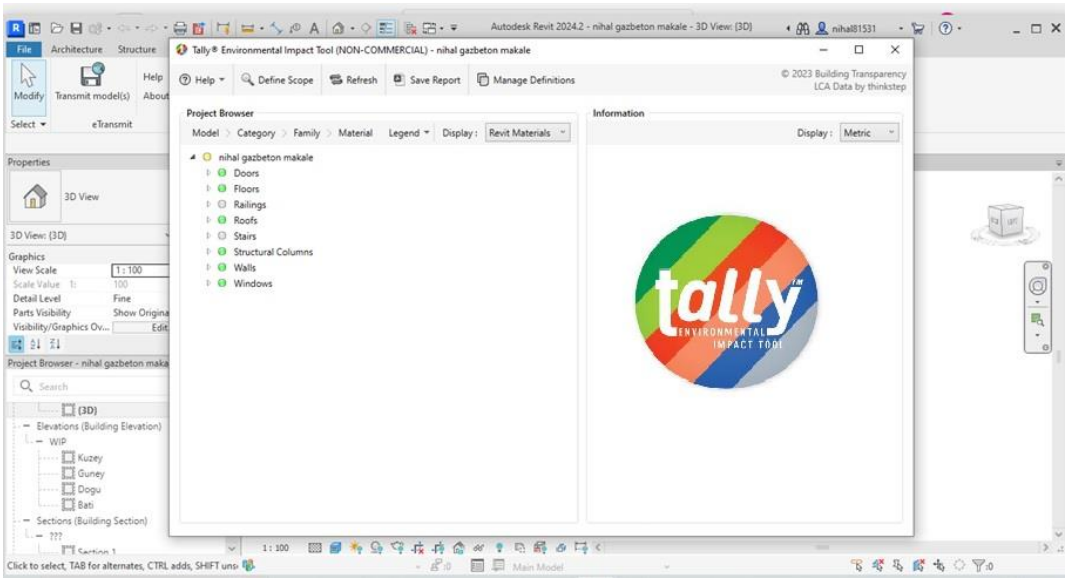
Şekil 21 Örnek villanın arka perspektiften görünüşü

Örnek villanın alt ve üst kat planları aşağıda verilirmiştir (Bak. Şekil 22).



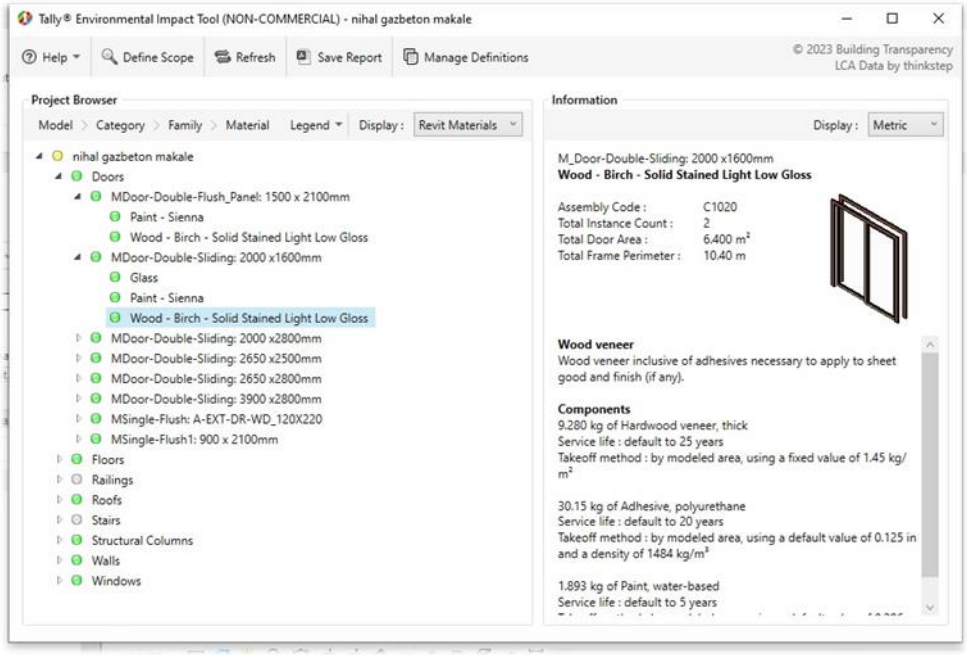
Şekil 22 Villanın alt kat ve üst kat planları

Tally programı Revit'in düzenlediği yapı elemanlarına göre listeleme yapar; bunu yaparken de alfabetik sırayı izler. Aşağıdaki Şekil 23' de kapılar, döşeme, çatı, yapısal kolon, duvar ve pencereler vardır. Bunun yanı sıra; merdiven ve korkulukları modelleme elemanı elle girilmektedir ve şimdilik tam doğru çalışmamaktadır. Şekil 23'de Revit yazılımında Tally'nın açılış sayfası verilmiştir.



Şekil 23 Revit'in Tally eklentisinin arayüzü

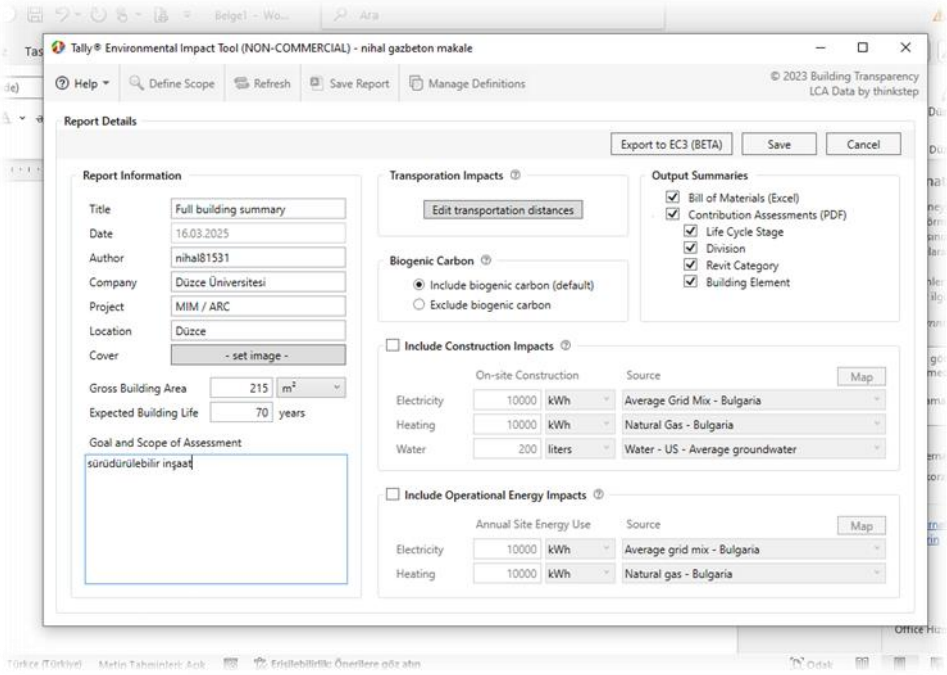
Şekil 24'te verilen ekran görüntüsünde kayar kapının profil bilgileri yer almaktadır. Aşağıdaki örnekte kapı kanadı cam olan kayar kapının cam oranı m^2 olarak ve çerçeve bilgileri ise c profil olarak metre cinsinden yer alır.



Şekil 24 Kapı yapı elemanının birleşenleri ve malzeme detayı

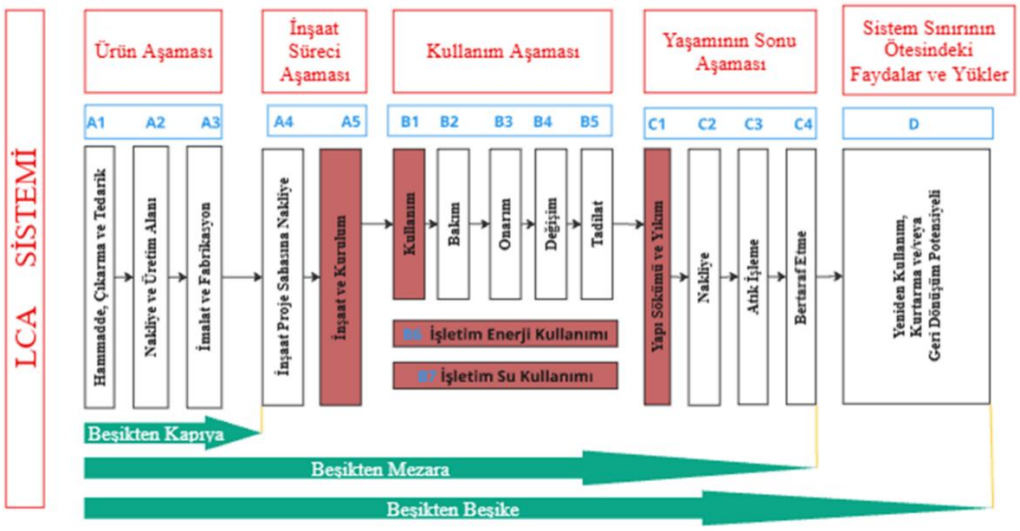
Program tanımlı ülkeler için elektrik, ısı ve su kullanımlarını inşaat sırasındaki toplam değerleri girmeye elverişlidir. Bu ülkeler Avustralya, Avusturya, Belçika, Bulgaristan, Kanada, Çin, Kıbrıs, Estonya, Finlandiya, Fransa, Almanya, Yunanistan, İrlanda, Lüksemburg, Malta, İsviçre, Yeni Zelanda, Norveç, Polonya, Romanya, Suudi Arabistan, Singapur, İngiltere ve Amerika'dır. Bu ülkeler için; hatta, hizmet süresi bakımından elektrik ve ısı kullanımları da hesaba katılabilmektedir (Bak. Şekil 25). Fakat Türkiye bu ülkelere dahil değildir. Dolayısı ile

gerek coğrafi gerek iklim gerekse inşaat teknolojileri ve enerji tüketimleri Türkiye'ye ait veriler alınamamaktadır.



Şekil 25 Tally Rapor alma aşaması

Yukardaki Tally programı Türkiye için LCA aşamalarının A5- inşaat ve kurulum, B1-kullanım, B6-işletim enerji kullanımı, B7 – işletim su kullanımı ve C1 yapı sektörü ve yıkım aşamalarını içermemektedir. Bu Şekil 26'de kırmızı olarak verilmiştir.



Şekil 26 LCA sisteminde Tally programında Türkiye için tanımlanmayan alanlar

BULGULAR

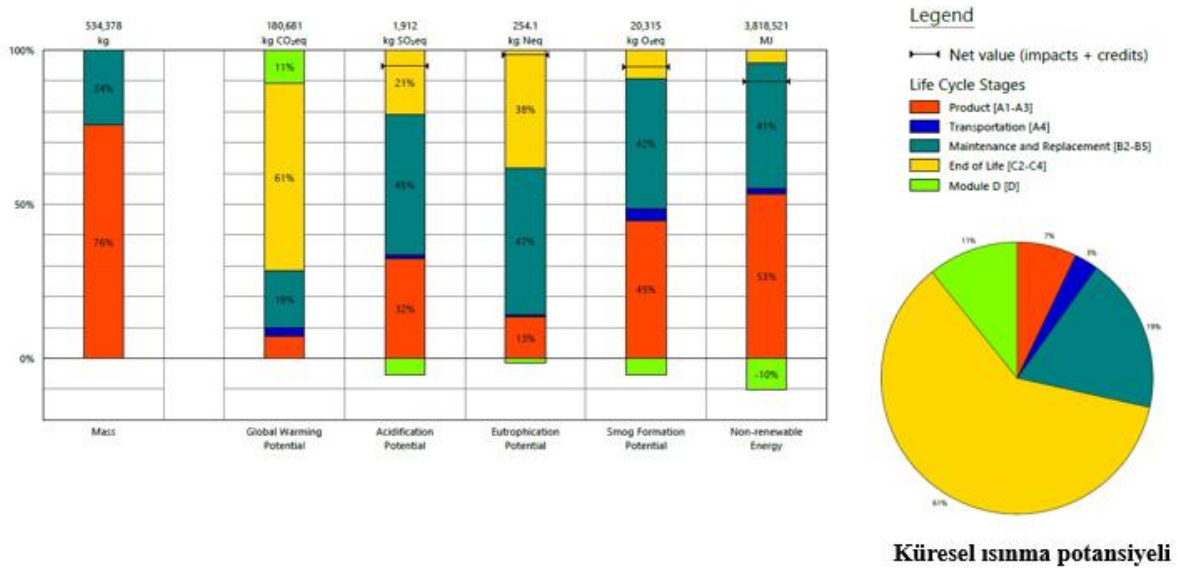
Örnek modelin çevresel etkileri Tablo 11'de verilmiştir. Bu tabloda yukardaki şemaya göre Şekil 26'deki kırmızı alanlar Tablo 1'de de eksik olarak verilmektedir. Bunun grafiksel

anlatımlarda toplam çevresel etki miktarları verilmiş ve bunların her biri ayrı ayrı yüzdeler şeklinde pay edilerek ayrıntılı bir şekilde Şekil 27'de verilmiştir. Tablo 11'de A1-A3(Ürün aşaması), A4(inşaat aşaması), B2-B5 (kullanım aşaması), C2-C4 (yaşam sonu aşaması), D (yeniden kullanım aşaması) mevcuttur.

Tablo 11 Örnek vakanın LCA'ya göre çevresel etkileri

Çevresel Etki Toplamları	Ürün Aşaması [A1-A3]	İnşaat Aşaması [A4]	Kullanım Aşaması [B2-B5]	Ömrün Sonu Aşaması [C2-C4]	Yeniden Kullanım [D]
Küresel Isınma (kg CO_2 eşd.)	12.843	5.084	33.51	109.767	19,476
Asitleşme (kg SO_2 eşd.)	619,4	23,56	870	399,6	-100
Ötrofikasyon (kg N eşd.)	34,17	1,918	120,5	97,52	-4.09
Smog Oluşumu (kg O_3 eşd.)	9.084	778,4	8.587	1.866	-1,119
Ozon Tükenmesi (kg CFC-11 eşd.)	0,02079	1,74E-10	0,001944	4,96E-06	-3.74E-05
Birincil Enerji (MJ)	3.214.693	73.929	2.704.955	168.712	-710,898
Yenilenemez Enerji (MJ)	2.030.253	72.16	1.558.076	158.033	-390,977
Yenilenebilir Enerji (MJ)	1.185.097	1.788	1.147.521	10.783	-321,585

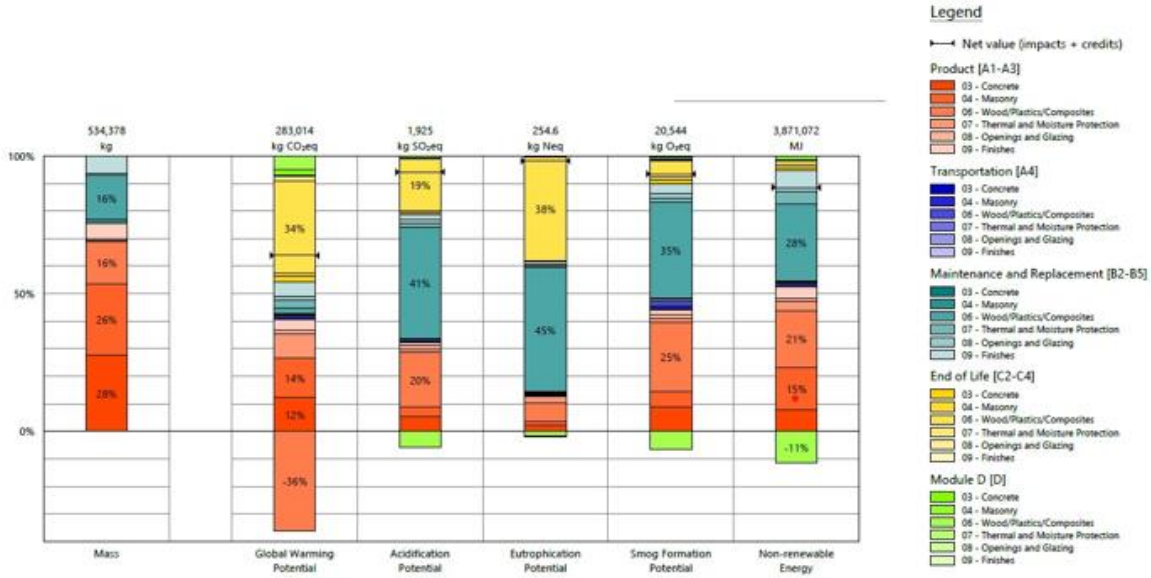
. Şekil 27'in lejant notlarında renklere göre ayrım yapılmıştır. Kırmızı üretimi, mavi taşımayı, koyu yeşil onarımı, sarı yıkımı, açık yeşil yeniden kullanımı ifade etmektedir.



Şekil 27 Yaşam Döngü Aşaması Başına küresel ısınma potansiyeli değerleri

Çevresel etki toplamı 534,378 kg; küresel ısınma potansiyeli 180.681 kg CO_2; asitleşme 1.912 kg SO_2; Ötrofikasyon 254,6 kg N, sis oluşumu potansiyeli 20.544 kg O_3, yenilenemeyen enerji 3.818.521 MJ değerlerini taşır. Şekil 9'da Şekil 27'in daha ayrıntılanmış hali mevcuttur.

Şekil 28'da her ana konunun alt bileşenlerini vurgulamak amacı ile grafikte gösterilen renklerde tonlamalara gidilmiştir. Bunlar arasında sırayla beton; duvar; ağaç, plastik, kompozit; ısı ve nem koruyucu; açıklıklar ve camlar; bitiş elemanı yer almaktadır.



Şekil 28 Yapı elemanlarının iş kalemlerine göre yüzdelik dilimleri

SONUÇ

Tablo 12'de alfabetik sırada inşaatta kullanılacak inşaat malzemelerinin listesi yer almaktadır. Proje ömrü 70 yıl seçildiği için bazı malzemelerin ömrü 70 yıldır. Dış duvar malzemesi de gazbeton blok seçilmiştir ve ihtiyaç miktarı 12.306,2 kg olmaktadır. İç duvarlar kil tuğla seçilmiştir ve ihtiyaç miktarı 119.610,7 kg gelmektedir. Duvar harcı miktarı 12.230,2 kg'dır. Çevre dostu ürün olarak dış duvarlar için XPS yalıtım malzemesi (EPD'sı bulunan) miktarı 288,9 kg bulunmuştur.

Tablo 12 Alfabetik sırada inşaatta kullanılacak malzeme kalemleri ve miktarları

Adhesive, acrylic	**997.3 kg**
Exterior - Brick wall	573.5 kg (20 yrs)
Exterior - Brick wall insulation	15.9 kg (20 yrs)
Generic Roof -roof insulation 16.60cm	408.0 kg (20 yrs)

Adhesive, polyurethane	**3,724.4 kg**
Generic Roof -roof insulation 16.60cm	2,750.2 kg (20 yrs)
M_Door-Double-Flush_Panel	59.4 kg (20 yrs)
M_Door-Double-Sliding	914.8 kg (20 yrs)

Autoclaved aerated concrete block (AAC)	**12,306.2 kg**
Exterior - Brick wall	12,306.2 kg (70 yrs)

Brick, generic	**119,610.7 kg**
Interior brick wall	119,610.7 kg (70 yrs)

Cement grout, TCNA - EPD		**138.7 kg**
Generic Floor - Nil floor		138.7 kg (60 yrs)
Cement mortar, Latricrete - EPD		**2,662.5 kg**
Generic Floor - Nil floor		2,662.5 kg (60 yrs)
Ceramic tile, glazed		**14,653.8 kg**
Generic Floor - Nil floor		14,653.8 kg (60 yrs)
Composite wood I-joist, AWC - EPD		**164,143.2 kg**
M_Single-Flush		26,400.0 kg (60 yrs)
M_Single-Flush1		137,743.2 kg (60 yrs)
EPDM, non-reinforced membrane, mils, SPRI - EPD	**60**	**302.1 kg**
Generic Roof -roof insulation 16.60cm		302.1 kg (70 yrs)
ETFE sheet		**642.1 kg**
Generic Roof -roof insulation 16.60cm		642.1 kg (20 yrs)
Exterior grade plywood, US (deprecated)		**77.8 kg**
M_Single-Flush		77.8 kg (30 yrs)
Fluid applied synthetic polymer air barrier		**741.3 kg**
Generic Roof -roof insulation 16.60cm		741.3 kg (40 yrs)
Glazing, double, insulated (air)		**4,479.7 kg**
M_Door-Double-Flush_Panel		134.8 kg (40 yrs)
M_Door-Double-Sliding		4,155.0 kg (40 yrs)
M_Fixed		189.8 kg (40 yrs)
Hard maple lumber, 1 inch		**507.7 kg**
M_Single-Flush1		507.7 kg (50 yrs)
Hardware, aluminum		**2.9 kg**
M_Fixed		2.9 kg (70 yrs)
Hardwood veneer, medium thickness		**197.0 kg**
Generic Roof -roof insulation 16.60cm		197.0 kg (25 yrs)
Hardwood veneer, thick		**224.9 kg**
M_Door-Double-Flush_Panel		13.7 kg (25 yrs)
M_Door-Double-Sliding		211.1 kg (25 yrs)
Lightweight concrete, 3000 psi, fly ash and slag	**0%**	**18,793.9 kg**
Generic Floor - Nil floor		18,793.9 kg (70 yrs)
Mortar type N		**12,230.2 kg**

Exterior - Brick wall	5,540.6 kg (60 yrs)
Interior brick wall	6,689.7 kg (60 yrs)

Paint, exterior acrylic latex	**4.5 kg**
M_Single-Flush	4.5 kg (10 yrs)

Paint, interior acrylic latex	**646.9 kg**
Exterior - Brick wall	253.3 kg (7 yrs)
gypsum wall	51.9 kg (7 yrs)
Interior brick wall	341.7 kg (7 yrs)

Paint, water-based	**214.1 kg**
M_Door-Double-Flush_Panel	13.0 kg (5 yrs)
M_Door-Double-Sliding	13.0 kg (5 yrs)

Polyurethane top coat, water-based, for wood	**17.3 kg**
M_Single-Flush1	17.3 kg (10 yrs)

Steel, concrete reinforcing steel, CMC - EPD	**10,216.9 kg**
Concrete Rectangular	5,039.7 kg (70 yrs)
Generic Floor - Nil floor	5,177.2 kg (70 yrs)

Structural concrete, 4000 psi, 20% fly ash	**118,411.1 kg**
Concrete Rectangular	31,360.5 kg (70 yrs)
Generic Floor - Nil floor	87,050.6 kg (70 yrs)

Stucco, portland cement	**10,538.6 kg**
Exterior - Brick wall	2,051.0 kg (60 yrs)
Exterior - Brick wall insulation	56.7 kg (60 yrs)
Generic Roof -roof insulation 16.60cm	8,430.9 kg (60 yrs)

Stucco, synthetic	**1,097.3 kg**
Exterior - Brick wall	418.4 kg (30 yrs)
Exterior - Brick wall insulation	11.6 kg (30 yrs)
Generic Floor - Nil floor	667.3 kg (30 yrs)

Terracotta	**7,413.0 kg**
Generic Roof -roof insulation 16.60cm	7,413.0 kg (70 yrs)

Wall board, gypsum, natural	**28,738.5 kg**
Exterior - Brick wall	9,845.0 kg (30 yrs)
gypsum wall	2,489.8 kg (30 yrs)
Interior brick wall	16,403.8 kg (30 yrs)

Window frame, aluminum, powder-coated, fixed, thermal break	**83.1 kg**

M_Fixed	83.1 kg (45 yrs)

XPS Insulation, FOAMULAR® NGX™ | US | pEPD	**271.3 kg**
Generic Floor - Nil floor	271.3 kg (70 yrs)

XPS insulation, Foamular average, Owens Corning - EPD (expired)	**288.9 kg**
Exterior - Brick wall	281.1 kg (70 yrs)
Exterior - Brick wall insulation	7.8 kg (70 yrs)

DEĞERLENDİRME

Autodesk Revit'te üç boyutu modellenen ve geometrik verileri Tally eklenti programına aktarılan örnek villanın malzeme ihtiyacı belirlenmiştir. İş programının yapılmasıyla transparan iletişim kanallarının kullanılan geri beslemeyle kendini yenileyen bir tedarik zinciri programının oluşmasını sağlanmıştır.

Tally programı yardımı ile kullanılan malzemelerin oluşturduğu çevresel etkileri de analiz edilmiştir. Bu işlem malzeme bilgilerinin programa tek tek girilmesi ile yapılmıştır. Seçilen malzemelerin yeşil yapı malzemesi olarak seçilmesiyle küresel ısınma potansiyeli ve karbon ayak izi açısından dünya çapında olumlu bir yaklaşım yakalanmıştır.

ÖNERİLER

LCA 'nın, erken planlama aşamalarına entegrasyonu için teşvik eksikliği vardır; bu da veri eksikliği, eksik standartlar veya eksik dış talepten kaynaklanır (Schumacher et al., 2022). Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından, toplam inşaat alanı 10 bin metrekarenin üzerinde yapılacak yeni kamu binalarında Yeşil Sertifika (YeS-TR) uygulamasının zorunlu hale getirilecektir. Kamu sektörü yapıları hariç özel sektör yapıları içinde yeşil malzeme kullanılmasının teşviki gelecek için önem taşıdığından yaygınlaştırılmasına gidilmelidir.

Yeşil yapı malzemeleri ele alındığında yalnızca çevresel özelliklerine göre değil, aynı zamanda işgücüne yönelik sağlık risklerini azaltma yeteneklerine göre de tercih edilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu özenli yaklaşım, inşaat işlerinde çalışan işçilerin sağlığını korumaya yönelik ahlaki yükümlülüğe uygun olarak güvenli bir çalışma ortamı oluşturmaya koyduğunu göstermektedir (Lee ve ark. 2019)

Yeşil yapı malzemesinin kullanılması için Autodesk Revit yazılımı ve Tally eklenti programıyla Karbon ayak izi bilgileri sağlıklı bir şekilde ele alınabilmektedir. Tally programında şu anda Türkiye'ye özel bir ilgili veri bulunmamaktadır. İnşaat ve kurulum, kullanım süresi; harcanan kaynaklar (elektrik, ısınma ve su gibi) ve yapı sökme yıkım aşamalarında ülkemiz için kesin değerler bulunmamaktadır. Buna yönelik olarak kamu kuruluşlarınca yapım projelerinde; tasarım aşamasından yıkım aşamasına kadar; gerek yapı malzemesi üretimi gerekse inşaat teknolojileri kullanımında yaygın olan çevresel değerlerin,

bir araya getirilip standartlara uygun ve uluslararası yazılımların da istifade edebileceği formatta yayınlanması; geleceğe yönelik çalışmalar ve uygulamalar için hayati önem arz etmektedir.

TEŞEKKÜRLER

Bu çalışmada kullandığım; Autodesk Revit ve Tally yazılımlarını ücretsiz öğrenci versiyonu kullanmama izin veren Atodesk ailesine desteklerinde dolayı çok teşekkür ediyoruz.

KAYNAKLAR

Antón, L. Á., & Díaz, J. (2014). Integration of Life Cycle Assessment in a BIM Environment. *Procedia Engineering*, *85*, 26–32. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.10.525

Azhar, S. (2011). *Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry* (Vol. 11, Issue 3).

Baloi, D. (2003). Sustainable construction: challenges and opportunities. ARCOM Conference,3-5 September 2003.

Cook, D. L. (1977). *Certification of Project Managers--fantasy Or Reality?*.

Day, J. et.al. (2018). Commentary on Jones et al. (2018): An inconvenient truth-complex problems require complex solutions. Addiction, 113(2), 287 288. https://doi.org/10.1111/add.14070

De Luca, A., Chen, L., & Gharehbaghi, K. (2021). Sustainable utilization of recycled aggregates: robust construction and demolition waste reduction strategies. International Journal of Building Pathology and Adaptation, 39(4), 666-682.

Duru, M. O., & Koç, İ. (2021). Sürdürülebilir Yapı Üretiminde Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA) Hesaplamalarının Yapı Bilgi Modellemesi (BIM) ile Entegrasyonuna yönelik bir Araştırma. *Sanat ve Tasarım Araştırmaları Dergisi*, 107–121.

Halfawy, M. M., & Froese, T. M. (2007). Component-Based Framework for Implementing Integrated Architectural/Engineering/Construction Project Systems. *Journal of Computing in Civil Engineering*, *21*(6), 441–452. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0887-3801(2007)21:6(441)

Harter, H., Weiler, V. , Eicker ,U., Developing a roadmap for the modernisation of city quarters – comparing the primary energy demand and greenhouse gas emissions, Build. Environ. 112 (2017) 166–176, https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.11.031.

He, Q.H., Wang G., Hotspots evolution and frontier analysis of lean construction research-integrated scientometric analysis using the web of science and Scopus databases, Front. Eng. Manag. 2 (2) (2015) 141–147, https://doi.org/10.15302/jfem-2015023.

Hornstein, H. A. (2015). The integration of project management and organizational change management is now a necessity. *International Journal of Project Management*, *33*(2), 291–298. https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2014.08.005

Kocakaya, M. N., Namlı, E., & Işıkdağ, Ü. (2019). Building Information Management (BIM), A New Approach to Project Management. *Journal of Sustainable Construction Materials and Technologies* , *4*(1), 323–332. https://doi.org/10.29187/jscmt.2018.36

Lee, B., M. Ponraj, H. Widyasamratri, & Wang, J. (2017). Green Building Practices on Waste Minimization in China Construction Industry. Industrial and Domestic Waste Management. https://www.semanticscholar.org/paper/Green-Building-Practices-on-Waste-Minimization-in-Lee-Ponraj/17dcf194613b6a373dd18581f2269f92723a49d0

Li, S., Fang, Y., & Wu, X. (2020). A systematic review of lean construction in Mainland China. *Journal of Cleaner Production*, *257*, 120581. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120581

Maleknia, SD.; Parcsi, G.; & Stuetz, R.; (2014). Analysis of volatile organic compounds from building materials for indoor air quality assessment. Https://Search.informit.org/Doi/10.3316/Informit.459387090005528

Mussinelli E, Tartaglia A, Raffaella R, Castaldo G Cerati D (2021) Knowledge, strategies, demonos-trative projects for the environmental quality ad climate adaptation of publi outdoor spaces in the urban context of Milan. In: Bologna R, Losasso M, Mussinelli E, Tucci F (eds) From urban districts to eco-districts. Knowledge, methodologies, programmes, pilot projects for climate adaptation. Maggioli, Santarcangelo di Romagna, Italia, pp 123–161

Ozcan-Deniz, G., Zhu, Y., Multi-objective optimization of greenhouse gas emissions in highway construction projects, Sustain. Cities Soc. 28 (2017) 162–171, https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.09.009.

Parekh,R & Trabucco.D; (2024). Recent progress in integrating BIM and LCA for sustainable construction: A Review. *International Journal of Science and Research Archive*, *13*(1), 907–932. https://doi.org/10.30574/ijsra.2024.13.1.1772

Russell-Smith, S. V.; Lepech, M. D.; Fruchter, R., and Meyer, Y. B.; 'Sustainable target value design: Integrating life cycle assessment and target value design to improve building energy and environmental performance', J. Clean. Prod., 88, 43-51 (2015).

Saieg, P., Sotelino, E.D., Nascimento, D., Caiado, R.G.G. Interactions of building information modeling, lean and sustainability on the architectural, engineering and construction industry: a systematic review, J. Clean. Prod. 174 (2018).788–806 https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.030.

Santos, R., Costa, A. A., Silvestre, J. D., & Pyl, L. (2019). Informetric analysis and review of literature on the role of BIM in sustainable construction. *Automation in Construction*, *103*, 221–234. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.02.022

Schumacher, R., Theißen, S., Höper, J., Drzymalla, J., Lambertz, M., Hollberg, A., Forth, K., Schneider-Marin, P., Wimmer, R., Bahlau, S., & Meins-Becker, A. (2022). Analysis of current practice and future potentials of LCA in a BIM-based design process in Germany. E3S Web of Conferences, 349, 10004. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202234910004

Shehata, S.M. (2019). Practical Study of Sustainable Green Building Materials: Faculty of Engineering Building, Menoufia University. ERJ. Engineering Research Journal. https://www.semanticscholar.org/paper/Practical-Study-of-Sustainable-Green-Building-of-Shehata/c77c2c3a7ec5fa23582e5709112327ba6d5aeaa6

Shehata.M (2019). Practical Study of Sustainable Green Building Materials: Faculty of Engineering Building, Menoufia University. ERJ. Engineering Research Journal. https://www.semanticscholar.org/paper/Practical-Study-of-Sustainable-Green-Building-of-Shehata/c77c2c3a7ec5fa23582e5709112327ba6d5aeaa6

Soust-Verdaguer, B., Llatas, C. García-Martínez A, Critical review of bim-based LCA method to buildings, Energ. Buildings 136 (2017) 110–120 https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.12.009.

Theißen,S.; Höper, J.; Lambertz, M., Hollberg, A., H. König, & Hollberg, P. (2022). Concept for combining LCA and hazardous building material assessment for decision support using BIM. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. https://www.semanticscholar.org/paper/Concept-for-combining-LCA-andhazardous-building-Thei%C3%9FenH%C3%B6per/0685e4ca52c2dc5c787fc4358d1ff4f670303bdf

URL-1: European Commission. *Buildings*. ,2018 mevcut kaynak: https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/buildings.

URL-2: Energy Performance of Buildings Directive 2025 mevcut kaynak https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive_en

URL-3: Yerli Yeşil Sertifika Sistemi Yes-Tr İle "Yeşil Bina" Sayısı Artacak ,2020, https://csb.gov.tr/yerli-yesil-sertifika-sistemi-yes-tr-ile-yesil-bina-sayisi-artacak-bakanlik-faaliyetleri-29700

URL-4:EPD Belgesi,2024, https://epdturkiye.com/epd-belgesi/

URL-5: BRE Global methology fort he environmental assessment of buildings using EN 15978:2011,2018, https://www.greenbooklive.com/filelibrary/EN_15804/PN326-BRE-EN-15978-Methodology.pdf

URL-6: Information management according to BS EN ISO 19650, 2020, https://ukbimframework.org/wp-content/uploads/2020/05/ISO19650-2Edition4.pdf

Vaidya, V. D., Vaghese, V., & Morey, P. K. (2023). Impact of elevated temperatures on properties of concrete with blast furnace slag as partial replacement of fine aggregate as green building material. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *1193*(1), 012024. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1193/1/012024

Wastiels, L., Decuypere R., Identification and comparison of LCA-BIM integration strategies, in: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 9, 323 (2019). DOI: 10.1088/1755-1315/323/1/012101

Wei, L. C., Wee, S. T., Sarpin, N., & Shafii, H. (2024). The Strategies of the Use of Green Building Materials Effectively among Contractor in Construction Industry. *RESEARCH IN MANAGEMENT OF TECHNOLOGY AND BUSINESS*, 820–837.

Wong, J. K. W., & Zhou, J. (2015). Enhancing environmental sustainability over building life cycles through green BIM: A review. *Automation in Construction*, *57*, 156–165. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.06.003

RESPONSE OF BASE-ISOLATED STRUCTURES WITH CONSIDERATION OF FRICTIONAL HEATING

Huseyin Cilsalar
Yozgat Bozok University, Department of Civil Engineering, Yozgat, Turkiye

ABSTRACT

Force-displacement relation of a Friction Pendulum isolator depends on the friction between sliding surfaces, effective radius of curvature of the surface on which articulated sliders moves, and instantaneous vertical load on the isolator. Axial load and curved surface of friction isolation system assure restoring force, preventing relatively large displacement of the isolation system, while friction provides energy dissipation during ground shaking. So, these two parameters have importance to determine force displacement relation of a Friction Pendulum isolated structures. Radius of curvature does not change during the course of motion, however, there are some parameters modifying friction coefficient, such as pressure, velocity and temperature observed due to frictional heating. Although, friction parameter depends these three responses, it is generally assumed that friction depends only on velocity of the articulated slider. In this study, responses of different steel moment resisting frames are analyzed under earthquake motions considering two different friction model approaches: velocity-only, and velocity and temperature dependent models. Base shear, base displacement, floor accelerations and residual base displacement from these two sets of analyses are compared to reveal the effect of frictional heating on the response of superstructure rather than the frictional system. Results could be used for the design of isolated structures with frictional systems.

Keywords: Base-isolation, Friction Pendulum, Frictional heating, Steel structures, Fragility curves

INTRODUCTION

Friction Pendulum isolators dissipate energy, and provide stiffness to the superstructure while it is under motion due to a ground shaking. These elements are composed of either single or multiple sliding surfaces. In a single Friction Pendulum bearing, there is only one post-elastic stiffness, while bearings with multiple sliding surfaces can have different sliding regimes, consequently, yielding different force-displacement relation under shear force depending on some other physical properties and magnitude of the relative displacement between each surfaces (Zayas et al., 1987; Fenz and Constantinou, 2006; Fenz, 2008; Fenz and Constantinou, 2008; Lee and Constantinou, 2016). It is possible to have larger displacement capacity if there are multiple sliding surfaces in an isolator compared to those with single

sliding surface (Fenz and Constantinou, 2006). Friction Pendulums might have different number of sliding surfaces. Performance of these elements are evaluated to reveal effectiveness of these isolation system for the performance enhancement of structures under strong ground shaking (Kitayama and Constantinou, 2018; Constantinou et al., 2007). In addition to number of sliding surfaces and geometry, different parameters determine force-displacement relation of Friction Pendulum elements, hence, seismic performance of structures equipped with the friction isolators. Radius of the curvature of a Friction Pendulum system along with the axial load on the bearing assures restoring force, while frictional mechanism between sliding isolator surfaces dissipates energy, resulting in lower demand on superstructure under ground shaking. So, these parameters have also key importance on the response of a friction-isolated buildings. Radius of curvature is determined at the manufacturing phase, which is constant and does not change during sliding. Axial force on the isolator may change while sliding, especially if there is strong vertical excitation. Friction coefficient, on the other hand, is related to some parameters, such as velocity, pressure and surface temperature, and might have significant changes while base of isolated structure is shaking. Relation between velocity and friction coefficient is described with and exponential function considering values at low and high velocities, and with a rate parameter (Mokha et al., 1990). Friction at high and low velocities of sliding motion between surfaces are simulated with a rate parameter that determines transition between maximum and minimum friction coefficients as velocity changes during motion. Axial pressure on the friction bearing elements has inverse relation with the coefficient of friction, and there are some functions to represent relation between pressure and friction coefficient (Constantinou et al., 1993; Chang et al., 1990). Also, rate parameter to determine velocity-friction relation is a function of axial load on isolator and Dao et al. (2013) has given a function for the estimation of rate parameters with respect to axial load on bearing elements. Temperature, on the other hand, on sliding surfaces rises during the motion due to heat flux, which affects friction value, and it depends on the displacement history of sliding motion (Chang et al., 1990; Constantinou et al., 1993). Therefore, amplitude, frequency and displaced position of the sliding surfaces are important to capture temperature rise due to frictional heating. Friction coefficient tends to decrease while temperature is rising due to sliding motion of the isolator. A relation between temperature on the sliding surface and friction coefficient was proposed in Sarlis and Constantinou (2013). A friction model taking effect of pressure, velocity and heating into account was proposed in (Kumar et al., 2015a;2015b). In this model a reference friction value is multiplied with a parameter obtained with multiplication of coefficients from there different responses of the bearing, such as velocity, pressure and temperature. Hence, force-displacement relation of single Friction Pendulum element was obtained with the model of (Kumar et al., 2015a;2015b) and model is available in OpenSees McKenna (1997) library as *FPBearingPTV*. Also, recently, a model to take frictional heating into account for Triple Friction Pendulum element has been developed (Kim and Constantinou, 2022a;2022b). If friction coefficient changes during the motion due to any effect, this will inevitably alter the

response of Friction Pendulum element under time-varying shear force. Hence, this will have an impact on the response of superstructure isolated from the ground with Friction Pendulum system. Consideration of pressure, temperature and velocity effect on a Friction Pendulum element decreases friction coefficient during motion as compared to Coulomb friction model which assumes no changes in friction during sliding Kumar et al. (2015a). Evaluation of response of the Friction Pendulum bearing element with period of 2, 3 and 4 seconds shows that base displacement is increased if temperature, pressure and velocity model is used as compared to Coulomb friction model, and this increase is more prominent in reference pressure value of 50 MPa compared to reference pressure of 10 MPa on the bearing (Kumar et al., 2015a). Also, floor rotation at the base level are sensitive to heating due to sliding amplifying torsional behavior (Mazza and Mazza, 2017). Performance or response of seismically isolated structures were generally evaluated using a friction model which does not consider temperature effect on the friction (Kitayama and Constantinou, 2018;2022; Jalali et al., 2021; Imran et al., 2021; Chen and Jia, 2021; Deringöl and Güneyisi, 2019). Simulation with the consideration of change in friction value and capturing the response including all important aspects are crucial in terms of robust evaluation of the friction-isolated structures. In this study, effect of temperature increase on the response of friction-isolated structures are investigated. Time-history analyses of different Friction Pendulum-isolated structural moment resisting frames are performed with the consideration of friction dependency on velocity only, and velocity and temperature at separately. Since models considered in this study are not excited in vertical direction, change in axial force on the bearing and, hence pressure, is marginal, and assumed not have an impact in altering friction coefficient. Isolators are considered as Friction Pendulum elements with single sliding surface. So, there is only one sliding regime in force-displacement relation. Earthquake records are selected for a location in California for different seismic intensities. Results from analyses performed with considering velocity and temperature dependent model are normalized with the results of velocity-only model. Floor and base accelerations, base shear values are the quantities compared and cumulative distribution function for those responses are also illustrated to show effect of temperature on the response of friction isolated structures. Earthquake simulation platform, OpenSees (McKenna, 1997) which has an element that can capture frictional heating in friction isolators, was used for modeling of superstructure, bearing elements and performing the analyses.

RESEARCH AND FINDINGS

Three, four and five story steel moment resisting base isolated structural frames are evaluated in terms of different structural responses to show effect of frictional heating in isolators due to sliding. All frames are designed for a location in California. Three and four story frames were designed in the different paper Cilsalar (2022), and detailed information on design and evaluation of these frames were reported in the study, such as floor loads, mass, structural members. Plan view and dimensions of each frames are same and given in Figure 1. Five

story frame is designed following similar procedure to those three and four story frames with the friction isolation system in Cilsalar (2022). In this study, isolators are assumed to have single sliding surface, unlike in Cilsalar (2022) that assumes double Friction Pendulum systems, modifying effective radius of sliding surface so that theoretical force-displacement relation of isolators in both studies are identical. All frames are designed as per drift and some other requirements of some standards ASCE 7-16 (2017); American Institute for Steel Construction (AISC) (2016a;2016b); American Institute of Steel Construction (AISC) (2016), and a computational platform Guan et al. (2020) that automates design and evaluation procedure of steel frames was used. Structural design parameters, such as strength ratio, demand capacity and connections are evaluated by this platform which also returns OpenSees McKenna (1997) model of fixed-base frames ready to run time history analyses.

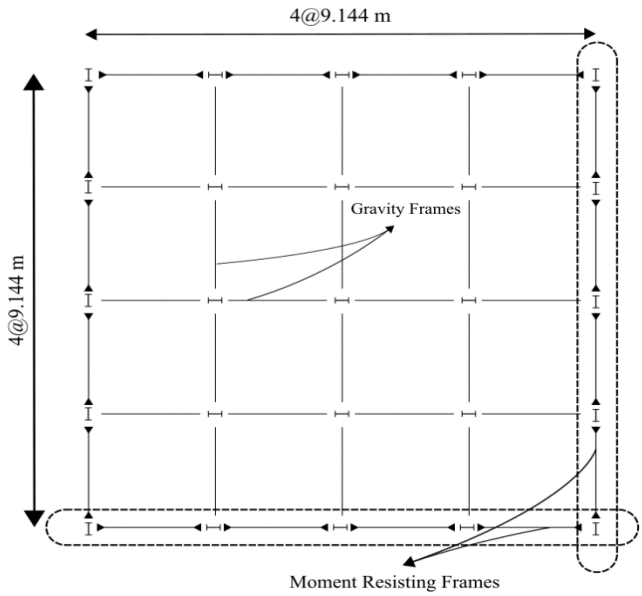


Figure 1. Plan view of the frames Cilsalar (2022)

In this study, there are five different sliding friction levels to see how temperature increase effect changes with the reference friction value which is required by used isolator element, *FPBearingPTV*. So, models are given just one friction value for each analyses, and these values are selected based on some studies in (Kitayama and Constantinou, 2018;2022; Zhi et al., 2023; Rahgozar et al., 2023; FEMA). In addition to lower and upper bound friction values of the study Cilsalar (2022) which are 11 and 3.9%, friction coefficients of 9.3, 8 and 5% are also considered within the scope of this study to show friction coefficient related tendency in structural response modification due to rising temperature in friction-isolated structures. So, in total there are five friction values considered for the bearing elements, and this yields five different effective periods, and there needs to be checking drift requirements of the frames under this effective period. So, for this purpose, earthquake ground motions and scale factor used in Cilsalar (2022) to match target spectrum were also used in this study. Since additional friction values selected for this study are between lower and upper bound properties of the

isolators for which frames were designed in Cilsalar (2022). Acceleration spectra of selected motions are still valid for the given record. Time-history analyses were performed to check drift requirements in case of each new friction values for three and four story frames, and all friction values for newly designed five story frame. Element sections of the latter are illustrated in Figure 2. Two exterior and two interior columns have the same W sections.

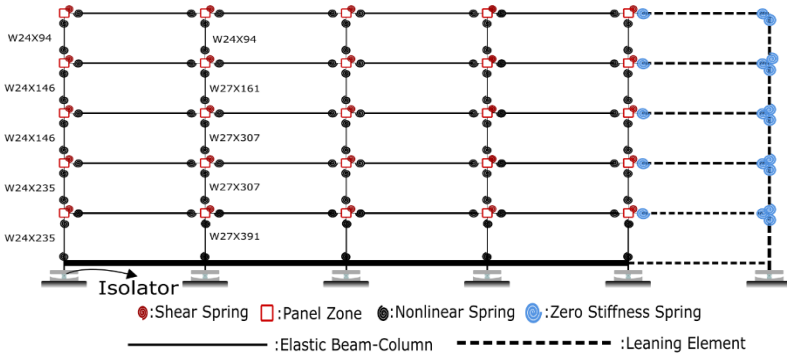


Figure 2. Elevation of 5 story frame

Open source earthquake simulation platform, OpenSees McKenna (1997), was used for modeling and performing time-history analysis for the evaluation of different responses. It has a readily available base isolation element, *FPBearingPTV* that can capture rising temperature on isolator surface in friction bearings due to sliding motion, and update friction coefficient accordingly. In this bearing element, a reference frictional coefficient is updated throughout the analysis by means of multiplying three factors related to velocity, pressure, and temperature with reference friction value, which is proposed in Kumar et al. (2015a;2015b). Figure 3 shows comparison of two different results obtained from a single Friction Pendulum isolator with and without accounting temperature effect on sliding friction along with the velocity using the same parameters under the same ground excitation. This comparison shows temperature rising due to friction should be taken into account for a robust evaluation of structural responses of building with friction isolation systems since any change in isolator's force-displacement relation will inevitably alter structural response.

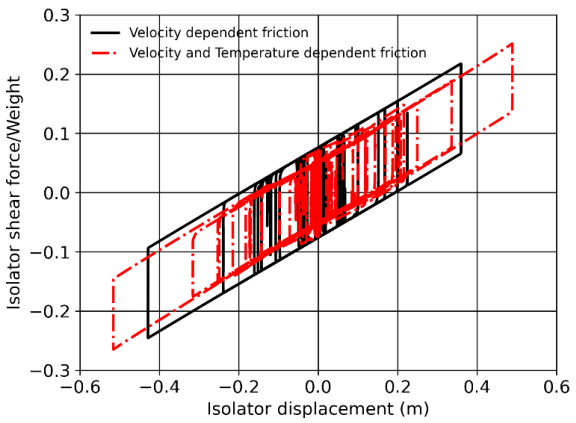


Figure 3. Comparison of velocity, and temperature and velocity dependent friction

At the base level of the models as shown in elevation of 5 story frame in Figure 2, there is relatively rigid elements, and isolators are placed under base level beneath each columns. Both base and floor masses are lumped at the joints. All beams and columns are modeled using elastic elements, and any possible nonlinear action in these members is captured with the nonlinear springs modeled with the expected moment rotation of each structural element between two joints. Leaning frame system is defined right next to moment resisting system with axially rigid elements without any moment resistance at joints where springs with zero rotational stiffness are defined. Nonlinear springs at the joint of structural frame are able to simulate different deterioration mechanisms as well (Lignos, 2008; Lignos and Krawinkler, 2011; Lignos et al., 2019). Panel zone elements are utilized for any distortion at this region with a shear spring at the corner these elements. Parameters for the simulation of nonlinear actions, deterioration, panel zone springs are determined by the platform used for the design and evaluation of the buildings (Guan et al., 2020). All nodes in a floor level are constraint to move same amount in horizontal direction to simulate rigid diaphragm behavior.

Selection of suitable ground motions to excite structural models with appropriate records related to site depending on the seismic intensity is crucial for the evaluation of structural responses. Instead of selection of ground motions based on the uniform hazard spectrum, mean value on a conditioned period, and variance of target response spectrum is considered for the selection and scaling of records as described in Lin et al. (2013), Ha and Han (2016) and Jayaram et al. (2011). In this approach, ground motions are scaled in a way to match spectrum of a record with the mean response spectrum at a specific period, which is constructed based on a ground motion prediction equation, in addition to variance of the same spectrum. A software given in Baker (2021) is used for the selection of ground motions and associated scale factors. In this software users are required to provide some input parameters regarding the expected seismic hazard on site, and all necessary calculation are performed and scale factors for records are returned to users. So, for this purpose results of probabilistic seismic hazard analysis for the site considered for the design of base isolated structures are taken into account as input parameters for record selection. Mean value of magnitude, distance and spectral shape factor is obtained from USGS website (USGS ,2021) in different seismic intensities for the site considered for the design of the frames. Another parameter is required from software is the conditioning period of vibration on spectrum, which is selected based on friction and geometric properties of isolators. Therefore, seismic hazard on site and structural parameters are linked together for the record selection. Effective period of isolator elements in this study changes with the selected reference friction coefficients, hence, there are five different period values for structural models. For all friction values, depending on the effective period obtained after calculation of expected base displacement for the seismic parameters, results of seismic hazard analyses are obtained and ground motions are selected and scaled. Ten different seismic hazard intensity is also considered for this study following the approach in Cilsalar (2022), which differ in terms of return period of earthquake event.

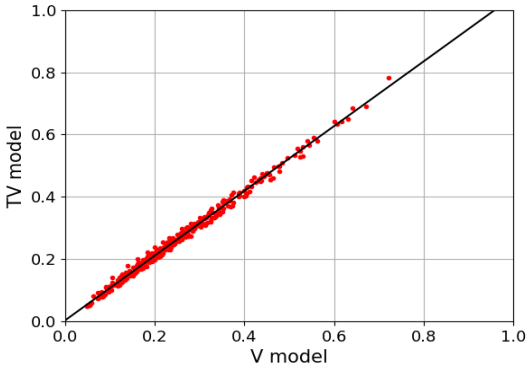
Two components of each records are scaled and two dimensional frames are analyzed separately with the selected record's pair components. There are fifteen ground motions and two components at each intensity levels, which gives total of three-hundred motions for running time history analysis. Same scale factors are used for each event, and vertical component of the records are disregarded. Since there are two perpendicular components, same scale factors are used for each.

Time-history analyses are performed for structural frames consisting of five different friction values in base isolation system, and three different floors numbers. Also isolation system at the base level is considered to have velocity-only, and velocity and temperature dependent friction model. So, in total, there are fifteen different models, and for each model there are three-hundred earthquake records to perform time history analyses. Maximum value of different response parameters in both superstructure and base isolation system, such as base displacement, base shear, absolute acceleration at the base are recorded to investigate effect of frictional heating on these responses. All earthquake motions have zero acceleration at the end of the records to capture residual displacement values which are obtained after motion is damped out on the frames. Hence, residual base displacement is also recorded for analyses since it is highly dependent on the frictional value and important parameter in different aspects (Cardone and Gesualdi, 2017). So, change in friction could have some modification on the residual value of displacement. OpenSees McKenna (1997), which is an open-source platform, is used for this study. First, structures are analyzed under gravity loads, which is very important for the isolator since resisting force results from the axial load on the bearings. Then, preserving the condition at the end of gravity analysis, time history analyses are performed applying selected acceleration time histories to the frames. since the models are in two-dimensional space, ground motion components of each earthquake records are applied separately. A subroutine is prepared to track maximum value of response parameters while earthquake simulation analysis is running. At the end of each simulation, those maximum values are stored in a file for investigation of heating effect in friction elements.

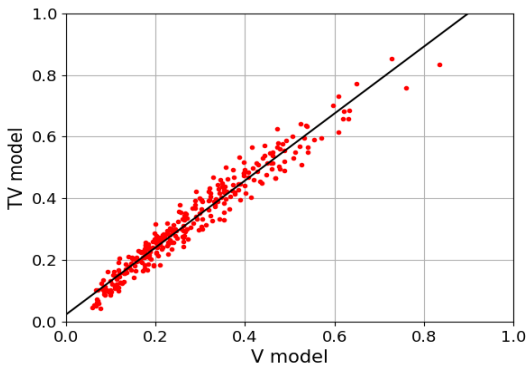
RESULTS AND DISCUSSION

Structural responses are obtained from velocity, and velocity and temperature dependent friction models separately. Maximum values of different responses, such as base shear, base displacement, base acceleration were recorded in each time-history analyses. Figure 4 shows relation between temperature and velocity dependent, and velocity-only models with friction value of 0.039 in terms of base shear ratio obtained diving maximum base shear value to total weight of frame. In this figure, TV represents temperature and velocity dependent friction model, while V show results of analyses with velocity-only friction. Figure illustrates there is a trend between two friction modeling approaches for this structural response. However, data is scattered for other different quantities, especially for other friction values, and it is more reasonable to represent data in a statistical manner to comprehend dispersion in addition to

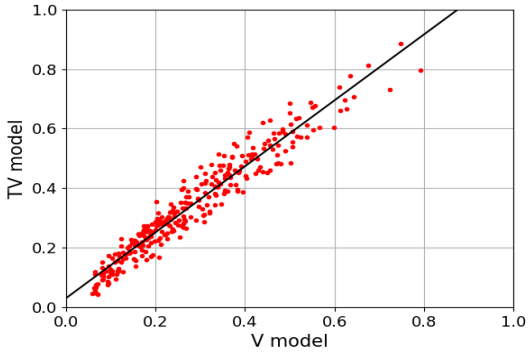
mean value of the data. So, it makes calculation of increase or decrease of different responses due to frictional heating convenient along with corresponding probability of non-exceeding.



(a) 3 story frame



(b) 4 story frame



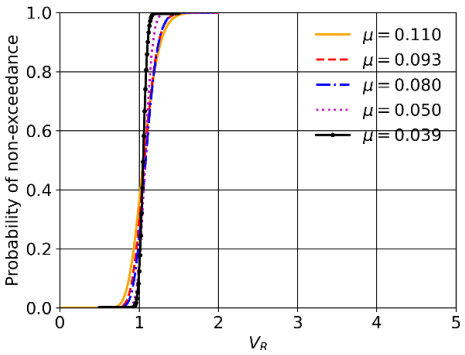
(c) 5 story frame

Figure 4. Base shear relation between two friction models for each frame with μ = 0.039

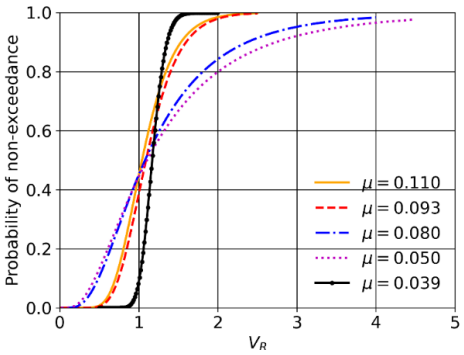
For this purpose, results from velocity and temperature dependent model were normalized with the same quantities from the results of velocity-only friction model both obtained from same time-history analyses. Hence, a coefficient is obtained for each response, which represents effect of frictional heating on these responses. If this ratio is bigger than one, it means that consideration of fictional heating increased the response under consideration compared to friction dependent model. This coefficient is given in terms of cumulative distribution function. Analytical-fit of the ratios to two-parameter log-normal distribution is obtained to show results in terms cumulative distribution function. So, any ratio related to structural responses can be obtained with its probability of non-exceedance using these curves. Hence, a modification coefficient along with its probability can be used to modify results of those analyses considering velocity only models. This modification factor can also be used design and evaluation of Friction Pendulum isolated structures without any complex calculation. Cumulative distribution function curves of different responses are shown in Figures 5-7 for all reference friction values. Plots for base shear ratio are given in Figure 5, which shows friction model marginally affected this response for the 3 story structural frame,

which is relatively rigid compared to other two, and cumulative distribution functions are very close to each other for all levels of reference friction values. However, there is discernible difference in the curves of different reference friction values for both 4 and 5 story frames. Mean values of base shear ratio of these frames are also bigger than 1, which shows consideration of frictional heating increases maximum base shear value in a friction isolated frame as compared to those models that ignore heating due to sliding motion. Curves of Figures 4b-4c show also higher values of deviation compared to 3 story model as given in Figure 4a. For all frames, highest friction values resulted in less deviation, while curves representing those model with relatively low friction values have higher deviation in comparison. Three story frames have lower base displacement ratio as compared to other frames as given in Figure 6. Also, it is observed that relatively less friction results in low base displacement ratio. On the other hand, higher friction coefficient yielded maximum value of base displacement ratio compared to other four friction values. This reveals that frictional heating effect on base displacement becomes more prominent if isolation system has relatively higher friction. Values of base displacement ratios, corresponding to fifty percent of probability of exceedance are around 1.3, 1.8 and 2.0 for 3,4, and 5 story frames, respectively. Flexibility of frame has an increasing effect of base displacement ratio. Here, it is important to note that isolator capacity is decided base on the expected base displacement ratio in maximum considered earthquake for designing a base isolated system. So, it is crucial to consider heating effect due to sliding friction in analyses or select a ratio in design phase using fragility curves given in this study to have a proper isolator size. Otherwise, displacement capacity of the isolator might be exceeded due to neglecting heating effect and slider can have impact with the rim of bearing element. This can cause some damage, even collapse, in superstructure, which makes deciding on proper base displacement in design phase considering heating effect of isolator inevitable. Also, if there is a moat wall, or a neighboring building exists, it is essential to determine base displacement properly avoid from a possible impact.

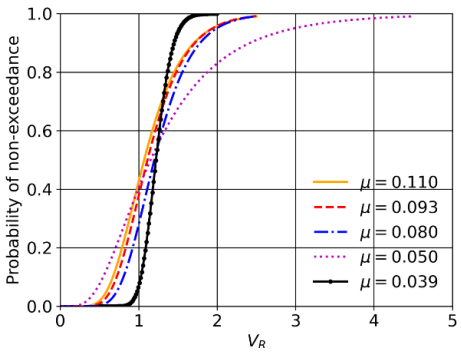
Base acceleration ratio is another important parameter to evaluate the performance of structures since it is an indication of floor accelerations, and energy transmitted to the superstructure. This quantity is generally less than one for almost all systems as shown in Figure 7, which means base acceleration values are lowered if temperature dependent friction model is used for the analyses. Highest friction values have the lowest base acceleration ratio. So, higher reference friction in base isolation system results in more decrease of base acceleration value of the structural frames. Curves of 3 story frames have closer ratios to one, however, for the other two frames, this ratio is reduced significantly. In case of a relatively flexible super structures, base acceleration values are de creased considerably. Unlike base displacement, base acceleration is affected more if reference friction value is relatively higher.



(a) 3 story frame

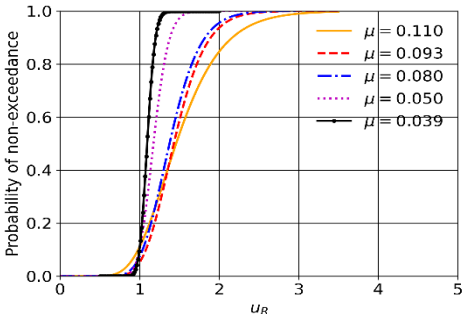


(b) 4 story frame

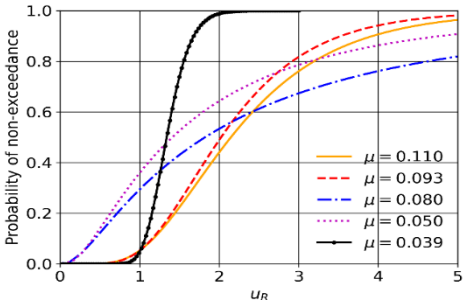


(c) 5 story frame

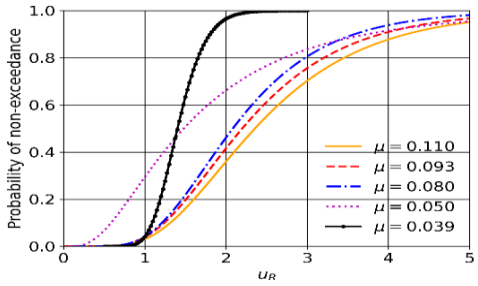
Figure 5. Cumulative distribution function of base shear ratio of each frame for different reference friction values



(a) 3 story frame

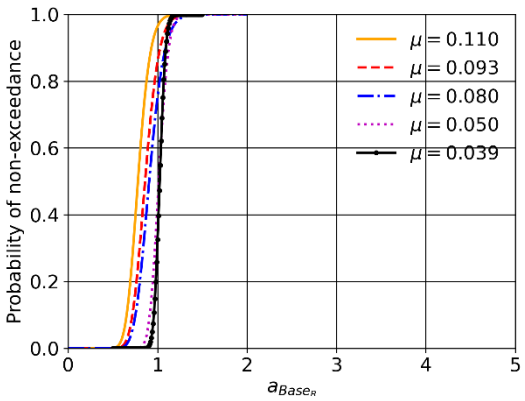


(b) 4 story frame

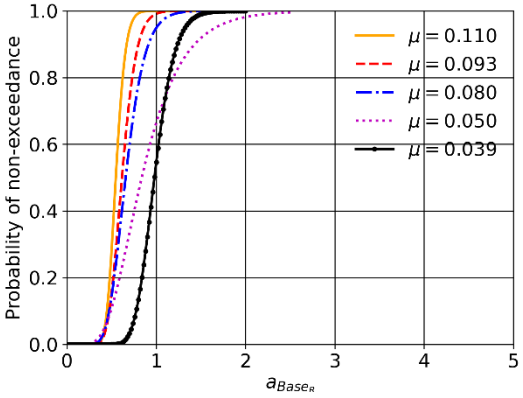


(c) 5 story frame

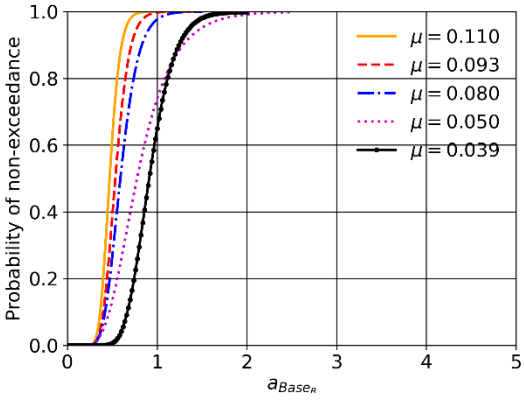
Figure 6. Cumulative distribution function of base displacement ratio of each frame for different reference friction values



(a) 3 story frame



(b) 4 story frame



(c) 5 story frame

Figure 7. Cumulative distribution function of base acceleration ratio of each frame for different reference friction values

Acceleration value of 0.3g at floor levels is an indication of possible damage to the non-structural components (Soroushian et al. 2015a;2015b; FEMA, 2012; Ryu and Reinhorn,

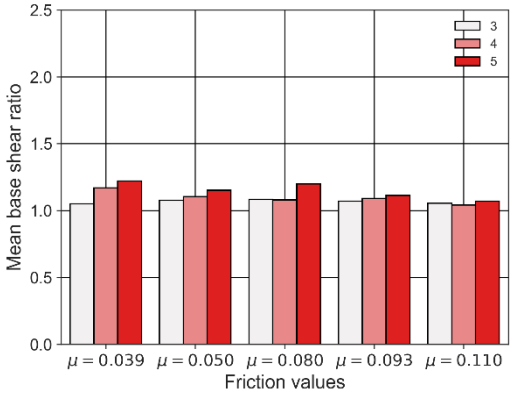
2019; Elenas and Meskouris, 2001). So, Table 1 show probability of exceedance of 0.3g base acceleration value at the base level. Instead of all floor levels, base level is evaluated to have an indication of acceleration value on the superstructure base to compare results of two friction models. In this table, TV and V show temperature and velocity, and velocity-only friction models, respectively. Except for values of 3.9 and 5.0 % in 3 story frame, temperature dependent models have lower probability of exceedance. So, energy transmitted to the superstructure is lowered as seen in Figure 8c along with the Table 1. This results from the modification of friction values during analysis as heating increased due to sliding motion. Decrease of friction due to heating, results in lower friction values, hence, less acceleration on the base level. Results of cumulative distribution function of base shear, base displacement and base shear ratio are summarized in the following Figure 8 which shows mean values of these quantities for all frames. The 3 story frames are the least effected model due to sliding temperature out of three frames in terms base displacement, shear and acceleration responses. For the base shear ratios of 3 story frames are close to one, while other two frames generally bigger than one with a decreasing tendency as friction coefficient is increased. Base shear increase for 4 story frames ranges between 4-16%, while this values in range of 6-22%for five story frame as given in Figure 8a.

Table 1. Probability of exceeding 0.3g peak floor acceleration on first floor (percent)

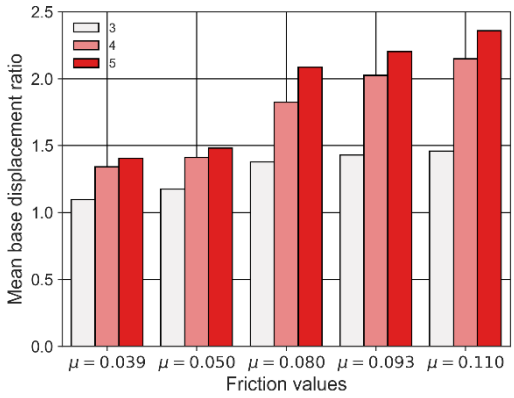
Model	TV			V		
Story	3	4	5	3	4	5
$\mu = 0.039$	23.55	44.42	49.48	21.17	45.67	61.3
$\mu = 0.050$	21.9	43.34	48.78	18.29	56.32	82.63
$\mu = 0.080$	17.88	45.31	51.41	22.19	99	100
$\mu = 0.093$	22.01	51.01	55.36	38.6	99.97	100
$\mu = 0.110$	27.97	55.86	60.29	72.49	100	100

All frames have experienced increase in base displacement due to heating due to sliding. This increase is more pronounced if frames have relatively high period as illustrated in Figure 8b. Mean value of base displacement increase in 3 story frame ranges between 10-45%, 4 story frame has the range of 35-114% while 5 story frame quantity is in the range of 45-145%. So, increase in base displacement value due to temperature in sliding motion have significant effect on the base displacement response of the structure, especially for those frames with higher period. Temperature in sliding elements have decreased ratio of base acceleration value of the frames. Similar to base displacement value, 4 and 5 story frames are affected more than 3 story frame. Figure 8c illustrates change in mean value of base acceleration ratio for different frames and reference sliding friction values. Decrease in ratio of base acceleration value is in range of 10-53% for five story frame, while this range is 3-46% for 4 story frame. Friction values of 0.039 and 0.050 did not make discernible change in base acceleration of 3 story frame, however, for the other values of reference friction, there is 10-22% decrease in base acceleration values of 3 story frames.

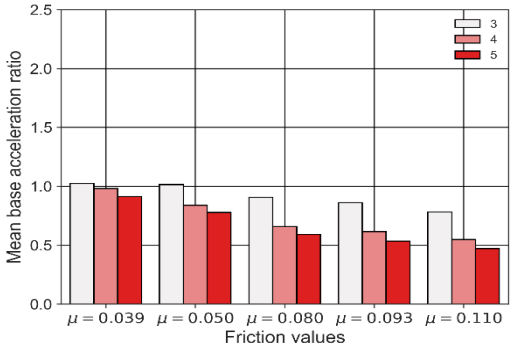
Following Tables 2-4 show mean values of floor acceleration ratios for each frames in addition to residual base displacement ratio. For those floor levels close to the base, floor accelerations of both friction models are very close to each other. However, for in higher floors, temperature and velocity dependent friction model yielded less floor acceleration. This is important for design of nonstructural components and acceleration-sensitive equipment's on floor levels. There is distinct decrease in floor acceleration in 4 and 5 story frames, while 3 story frame is less affected in floor acceleration decrease as compared to other two frames. Also, increase in reference friction values makes effect of heating temperature more significant. For three story frame, decrease in floor accelerations at the same level is similar to each other. However, floor acceleration ratios at higher friction values on higher floors are bigger compared to base acceleration in 4 and 5 story frames.



(a) Base shear



(b) Base displacement



(c) Base acceleration

Figure 8. Mean values of different response ratios for all frames

Table 2. Mean acceleration and residual base displacement ratios of 3 story frame

	a_1	a_2	a_3	u_{Base_R}
μ = 0.039	1.03	1.01	0.96	0.78
μ = 0.050	1.02	0.99	0.92	0.81

μ = 0.080	0.91	0.86	0.8	0.73
μ = 0.093	0.87	0.83	0.77	0.67
μ = 0.110	0.79	0.8	0.75	0.69

Same observations are also valid for the residual base displacement. It is decreased with the increased reference friction value and higher structural periods. This decrease can go up to 60% for 5 story frame. This decrease value is around 50% and 30% for 4 and 3 story frames, respectively. In terms of reference friction values, it is observed that effect of heating due to temperature increase becomes more prominent if isolation system has relatively high friction value in terms of base displacement, base acceleration and floor acceleration responses. These different responses in design phase can be decided based on the ratios given in this study if temperature dependent friction model is not considered in the analysis or rough estimation of response of friction isolated structural frames could be obtained if temperature dependent model is not used for analyses of structural frames with friction isolation.

Table 3. Mean acceleration and residual base displacement ratios of 4 story frame

	a_1	a_2	a_3	a_4	u_{Base_R}
μ = 0.039	0.99	0.98	0.95	0.83	0.53
μ = 0.050	0.85	0.86	0.83	0.74	0.5
μ = 0.080	0.67	0.74	0.71	0.64	0.52
μ = 0.093	0.63	0.71	0.67	0.63	0.45
μ = 0.110	0.56	0.64	0.62	0.61	0.52

Table 4. Mean acceleration and residual base displacement ratios of 5 story frame

	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	u_{Base_R}
μ = 0.039	0.92	0.97	0.95	0.94	0.78	0.5
μ = 0.050	0.79	0.83	0.81	0.82	0.7	0.37
μ = 0.080	0.6	0.72	0.69	0.71	0.61	0.46
μ = 0.093	0.55	0.67	0.66	0.66	0.6	0.36
μ = 0.110	0.48	0.63	0.6	0.62	0.56	0.42

CONCLUSION

Effect of frictional heating due to sliding motion in Friction Pendulum isolated three, four and five story steel moment resisting frames are evaluated in this study. All frames are modeled using single Friction Pendulum elements with five different levels of reference friction values. Isolators are considered as velocity dependent, and velocity and temperature dependent friction model separately. All models are analyzed using three hundred and fifty ground motions selected and scaled based on conditional spectrum approach with variance for different seismic hazard intensity for the site in California. Structural responses, such as base shear, base displacement, base accelerations and residual isolator displacements are evaluated within the scope of this study. Results from velocity and temperature dependent friction model are normalized with the results of velocity-only analyses of the models. Hence, a ratio is obtained for different responses. Results are given by means of cumulative

distribution function of the these obtained ratios. Results indicate that consideration of frictional heating can modify response in different manners depending on the structural parameters. Base shear ratio of the frames are slightly higher than one, which shows temperature dependent model have higher base shear values compared to velocity only model. Relatively lower reference friction value is resulted in increase of base shear ratio. This increase is higher for four and five story frames. Base shear increase can reach to 20% if temperature dependent model is utilized in time history analyses compared to those models with the velocity-only friction in bearing elements. Base displacement ratio of frames increased if isolators have relatively higher reference friction values. Four and five story frames have more than doubled base displacement ratio for relatively higher reference friction values, while 3 story frames have around 50% increase in base displacement. Base acceleration value tends to decrease with the increasing friction and in case of more flexible superstructures, and this decrease can go up to more than 60% for some frames. This is also an indication of dissipation of transmitted energy from ground to superstructure. Heating in friction isolators dissipates more energy than the velocity-only friction model. This is important for the assessment of conditions of acceleration-sensitive equipment on buildings. Response of structures obtained ignoring temperature dependency of frictional heating requires some modification of results. These modification parameters also change depending on the quantity of interest and flexibility of super structure. Base shear value is relatively less effected from frictional heating and this response quantity can even be selected as 1 for stiff structures. However, base displacement value is significantly affected from the frictional heating and this modification parameter can even go up to two for flexible structures with high friction values. Base acceleration and floor accelerations get smaller as friction coefficient and flexibility of superstructure is increased. Analyses in these study are performed for only two dimensional structural frames using single Friction Pendulum elements with five different reference friction values. Also, uni-directional ground motions are utilized in shear direction and vertical component of ground motions are disregarded. So, results are valid only for the conditions given here. However, findings of this study can still be extended to have information of change in response of three dimensional structural frames. Ratios related to different structural responses can be considered as response modification for those structural model with friction isolation system that considers velocity-only models in the analysis for preliminary design, and decide on isolation displacement capacity, expected base shear ratios or acceleration values at different levels of the isolated buildings.

REFERENCES

American Institute for Steel Construction (AISC) (2016a). Seismic provisions for structural steel buildings, ANSI/AISC 341-16.

American Institute for Steel Construction (AISC) (2016b). Specification for structural steel buildings, ANSI/AISC 360.

American Institute of Steel Construction (AISC) (2016). Prequalified connections for special and intermediate steel moment frames for seismic applications, ANSI/AISC 358-16.

ASCE 7-16 (2017). Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures. American Society of Civil Engineers.

Baker, J. (2021). Conditional spectrum ground motion selection. https:// github.com/bakerjw/CS Selection, Accessed: November 25, 2021. [Accessed: November 25, 2021].

Cardone, D. and Gesualdi, G. (2017). Influence of residual displacements on the design displacement of spherical friction-based isolation systems. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 100:492–503.

Chang, K., Hwang, J., and Lee, G. (1990). Analytical model for sliding behavior of Teflon-stainless steel interfaces. Journal of engineering mechanics, 116(12):2749–2763.

Chen, Z. and Jia, P. (2021). Seismic response of underground stations with friction pendulum bearings under horizontal and vertical ground motions. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 151:106984.

Cilsalar, H. (2022). Comparative fire-following-earthquake performance of code compliant low-rise base-isolated structures. Journal of Structural Engineering & Applied Mechanics (Online), 5(2):77–95.

Constantinou, M. C., Tsopelas, P., Kim, Y., and Okamoto, S. (1993). NCEER Taisei Corporation research program on sliding seismic isolation systems for bridges: experimental and analytical study of a friction pendulum system (FPS). NCEER-93-0020, National Center for Earthquake Engineering Research Buffalo, NY.

Constantinou, M. C., Whittaker, A., Kalpakidis, Y., Fenz, D., and Warn, G. P. (2007). Performance of seismic isolation hardware under service and seismic loading. MCEER-07-002, Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research. University at Buffalo, The State University of New York.

Dao, N. D., Ryan, K. L., Sato, E., and Sasaki, T. (2013). Predicting the displacement of triple pendulum™ bearings in a full-scale shaking experiment using a three-dimensional element. Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 42(11):1677–1695.

Deringöl, A. H. and Güneyisi, E. M. (2019). Effect of friction pendulum bearing properties on behaviour of buildings subjected to seismic loads. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 125:105746.

Elenas, A. and Meskouris, K. (2001). Correlation study between seismic acceleration parameters and damage indices of structures. Engineering Structures, 23(6):698–704.

FEMA (2012). Seismic performance assessment of buildings. Report FEMA P-58. Federal Emergency Management Agency. Washington DC, USA.

FEMA, P. 1051 (2016) 2015 NEHRP recommended seismic provisions: design examples. Federal Emergency Management Agency.

Fenz, D. M. (2008). Development, implementation and verification of dynamic analysis models for multi-spherical sliding bearings. PhD thesis, PhD Dissertation, State University of New York at Buffalo.

Fenz, D. M. and Constantinou, M. C. (2006). Behaviour of the double concave friction pendulum bearing. Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 35(11):1403–1424.

Fenz, D. M. and Constantinou, M. C. (2008). Modeling triple friction pendulum bearings for response-history analysis. Earthquake Spectra, 24(4):1011–1028.

Guan, X., Burton, H., and Sabol, T. (2020). Python-based computational platform to automate seismic design, nonlinear structural model construction and analysis of steel moment resisting frames. Engineering Structures, 224:111199.

Ha, S. J. and Han, S. W. (2016). An efficient method for selecting and scaling ground motions matching target response spectrum mean and variance. Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 45(8):1381–1387.

Imran, I., Siringoringo, D. M., and Michael, J. (2021). Seismic performance of reinforced concrete buildings with double concave friction pendulum base isolation system: case study of design by Indonesian code. Structures, 34:462– 478.

Jalali, Y., Amiri, G. G., and Shakouri, A. (2021). Comparative response assessment of base-isolated braced-frame buildings considering effects of ductility design. Journal of Building Engineering, 43:103110.

Jayaram, N., Lin, T., and Baker, J. W. (2011). A computationally efficient ground-motion selection algorithm for matching a target response spectrum mean and variance. Earthquake spectra, 27(3):797–815.

Kim, H.-M. and Constantinou, M. C. (2022a). Modeling frictional heating effects in triple friction pendulum isolators. Earthquake Engineering & Structural Dynamics.

Kim, H.-M. and Constantinou, M. C. (2022b). Modeling Triple Friction Pen dulum Bearings in Program OpenSees Including Frictional Heating Effects. MCEER-22-0001, Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research. University at Buffalo, The State University of New York.

Kitayama, S. and Constantinou, M. C. (2018). Collapse performance of seismically isolated buildings designed by the procedures of ASCE/SEI 7. Engineering Structures, 164:243–258.

Kitayama, S. and Constantinou, M. C. (2022). Effect of modeling of inherent damping on the response and collapse performance of seismically isolated buildings. Earthquake Engineering & Structural Dynamics.

Kumar, M., Whittaker, A. S., and Constantinou, M. C. (2015a). Characterizing friction in sliding isolation bearings. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 44(9):1409–1425.

Kumar, M., Whittaker, A. S., and Constantinou, M. C. (2015b). Seismic isolation of nuclear power plants using sliding bearings. MCEER-15-0006, Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research. University at Buffalo, The State University of New York.

Lee, D. and Constantinou, M. C. (2016). Quintuple friction pendulum isolator: Behavior, modeling, and validation. Earthquake Spectra, 32(3):1607–1626.

Lignos, D. (2008). Sidesway collapse of deteriorating structural systems under seismic excitations. Stanford university.

Lignos, D. G., Hartloper, A. R., Elkady, A., Deierlein, G. G., and Hamburger, R. (2019). Proposed updates to the ASCE 41 nonlinear modeling parameters for wide-flange steel columns in support of performance-based seismic engineering. Journal of Structural Engineering, 145(9):04019083.

Lignos, D. G. and Krawinkler, H. (2011). Deterioration modeling of steel components in support of collapse prediction of steel moment frames under earth quake loading. Journal of Structural Engineering, 137(11):1291–1302.

Lin, T., Harmsen, S. C., Baker, J. W., and Luco, N. (2013). Conditional spectrum computation incorporating multiple causal earthquakes and ground motion prediction models. Bulletin of the Seismological Society of America, 103(2A):1103–1116.

Mazza, F. and Mazza, M. (2017). Sensitivity to modelling and design of curved surface sliding bearings in the nonlinear seismic analysis of base-isolated r.c. framed buildings. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 100:144–158.

McKenna, F. T. (1997). Object-oriented finite element programming: frame works for analysis, algorithms and parallel computing. PhD thesis, PhD Dissertation, Department of Civil and Environmental Engineering, University of California, Berkeley.

Mokha, A., Constantinou, M., and Reinhorn, A. (1990). Teflon bearings in base isolation i: Testing. Journal of Structural Engineering, 116(2):438–454.

Rahgozar, A., Estekanchi, H. E., and Mirfarhadi, S. A. (2023). On optimal triple friction pendulum base-isolation design for steel moment-frame buildings employing value-based seismic design methodology. Journal of Building Engineering, 63:105494.

Ryu, K. P. and Reinhorn, A. M. (2019). Experimental study of large area suspended ceilings. Journal of Earthquake Engineering, 23(6):1001–1032.

Sarlis, A. A. and Constantinou, M. C. (2013). Model of triple friction pendulum bearing for general geometric and frictional parameters and for uplift conditions. MCEER-13-010, Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research. University at Buffalo, The State University of New York.

Soroushian, S., Maragakis, E., and Jenkins, C. (2015a). Capacity evaluation of suspended ceiling components, part 1: experimental studies. Journal of Earthquake Engineering, 19(5):784–804.

Soroushian, S., Zaghi, A. E., Maragakis, E., Echevarria, A., Tian, Y., and Filiatrault, A. (2015b). Seismic fragility study of fire sprinkler piping systems with grooved fit joints. Journal of Structural Engineering, 141(6):04014157.

USGS (2021). Unified Hazard Tool. https://earthquake.usgs.gov/hazards/ interactive/ Accessed: April 2021. [Accessed: April 2021].

Zayas, V. A., Low, S. S., and Mahin, S. A. (1987). The FPS earthquake resisting system experimental report. Report UCB/EERC-87/01. Earthquake Engineering Research Center.

Zhi, X., Liang, N., Yin, L., and Fan, F. (2023). Mechanical properties of curvature-consistent frictional pendulum bearings and isolation performance of spherical reticulated shells. Journal of Building Engineering, 64:105659.

BEYOND THE TRANSITIONAL SPACE: RETHINKING ON THE FORMAL AND FUNCTIONAL SHIFTS OF CIRCULATION SPACES IN CONTEMPORARY SCHOOLS

Maryam GOLABI
Dr., Bursa Technical University, Faculty of Architecture and Design, Department of Architecture
ORCID NO: 0000-0001-8645-9776

ABSTRACT

Nowadays, circulation spaces are considered key elements in the architectural design of schools, influencing movement, spatial experience, interaction, well-being, and functionality. Traditionally, horizontal and vertical circulation spaces, such as corridors, stairs, and ramps, were conceived primarily as simple transitional zones, serving as functional routes to connect distinct areas within a school building. Their design was often utilitarian, prioritizing efficiency and accessibility over aesthetic or experiential value. However, in recent decades, there has been a profound shift in how these spaces are conceived and integrated into architectural design. This study explores the evolution of the formal and functional characteristics of school circulation spaces, highlighting the transition from passive, transitional zones to active, dynamic, and multifunctional environments. It demonstrates how the reconfiguration of these areas in contemporary schools has diminished their historical association with discipline and control, contributing instead to the prevention of negative behaviors such as bullying. The findings also show that the dynamic nature of these spaces actively supports students' physical and emotional health by promoting movement, openness, and social engagement. Finally, the research underscores the growing recognition of circulation spaces as integral to the identity and atmosphere of schools, reshaping the way students interact with their environment and one another.

Keywords: Circulation Spaces, School buildings, Formal and Functional Shifts.

INTRODUCTION

Circulation spaces constitute fundamental components in the conceptualization of architectural space, often serving as key determinants of spatial identity. Corridors and staircases often transcend their utilitarian function, becoming expressive design elements, especially in sophisticated architectural designs. Among these, staircases hold a unique role, enabling vertical movement while embodying symbolic meanings in terms of transition, ascension, and transformation (Schittich, 2013). Historically and currently, staircases play a crucial role in the spatial hierarchy and experiential quality of architecture. Through their scale, form, and placement, they articulate cultural values and enhance the narrative

dimension of built environments, often functioning as focal points of encounter, ceremony, and contemplation.

Circulation spaces have historically been important in educational design, functioning not only as elements that organize spatial movement but also as integral components of the spatial and social structure of schools. In both conventional and modern educational environments, corridors, staircases, and other transitional spaces are crucial for both facilitating movement and influencing user experience. Nonetheless, their function, form, and conceptual significance have experienced considerable evolution over time. Historically viewed as practical corridors, modern perspectives are progressively redefining circulation spaces as multipurpose areas that facilitate learning, interaction, and well-being. This study aims to explore the evolution of circulation spaces in schools, analyzing their transformation from merely utilitarian areas to dynamic spatial entities that enhance pedagogical and architectural innovation.

Recent studies have investigated the evolving role of circulation spaces within learning environments, moving beyond their traditional designation as mere connectors of classrooms and facilities (Al Şensoy, 2018). Researchers have explored how these areas support informal learning, socialization, and a sense of school belonging, highlighting their potential as multifunctional environments (Aktürk, Midilli Sarı, & Al Şensoy, 2024). These contributions underline a growing awareness of the performative and social dimensions of circulation spaces in educational settings. While existing literature emphasizes circulation spaces as sites for spatial flow, social interaction, and informal learning, there remains a gap in understanding how their transformation also mitigates negative behaviors such as bullying, eliminates the disciplinary connotations historically associated with linear corridors, and promotes student health and well-being by encouraging movement and physical activity. This study adopts a discursive approach to discuss the transformation of circulation spaces, particularly corridors and staircases, in educational architecture. It seeks to reveal how their evolving forms not only support pedagogical and social functions but also reshape the atmosphere and identity of schools in ways that align with contemporary educational values and spatial imaginaries.

MATERIALS AND METHOD

This study employs a discursive research approach, combining a literature review with visual analysis to investigate the evolving role of school circulation spaces. The literature review begins by examining the broader discourse on educational environments and the significance of circulation spaces within them, emphasizing how shifting pedagogical priorities and social values have shaped spatial design. It then analyzes the transformation of these spaces in terms of form and function, with particular attention to their role in preventing negative behaviors such as bullying, supporting student well-being, and fostering inclusive, collaborative learning environments. Visual analysis of exemplary contemporary school designs complements the

theoretical insights, demonstrating how architectural interventions, such as openness, transparency, and flexibility, enhance social interaction, emotional support, and spatial engagement. Together, these methods provide a holistic understanding of how circulation spaces have evolved into dynamic, multifunctional hubs that promote healthier and more inclusive educational settings.

RESULTS AND DISCUSSION

Traditional Circulation Spaces: Enclosed and Rigid Spaces

Traditional circulation spaces in schools, such as corridors and staircases, have often featured linear, narrow, and enclosed configurations, emphasizing efficient movement between classrooms and other areas. Their architectural design was typically minimalistic, lacking complexity or variation, with these areas serving purely as functional passageways rather than spaces for engagement or interaction. The narrowness and length of corridors constrained student flow, contributing to a sense of confinement and limiting opportunities for social interaction. These double-loaded corridors were not intended as gathering areas but were solely conceived for connecting classrooms and facilities (Dudek, 2007). The linear nature of the corridors, combined with limited visual connections to surrounding spaces, fostered a detached environment. The spatial organization of stairs often mirrored this rigidity, with their placement at the ends of corridors or located at less visible areas of the building. This arrangement reinforced the hierarchical flow of movement, where stairs served as functional links between floors rather than as focal points for social interaction or engagement. In terms of spatial organization, traditional circulation spaces emphasized a rigid and predictable flow. The alignment of classrooms and offices along long corridors facilitated regulated movement, reinforcing the controlled nature of educational environments (Figure 1).



Figure 1. Enclosed, narrow, and linear corridors underscore rigidity and reinforce their role as transitional spaces.

Punitive and Exclusionary Aspects of Traditional Linear and Double-Loaded Corridors: Isolation and Bullying

The spatial configuration of circulation spaces also influence the social dynamics within the school. The linear, narrow, and often enclosed configurations of corridors limit opportunities for spontaneous interaction, thus reinforcing a sense of order within the school. This architectural form aligns with Michel Foucault's exploration of discipline and control in *Discipline and Punish: The Birth of the Prison*, where he examines how spatial organization is used as a tool for regulating behavior and maintaining authority (Foucault, 1995, pp. 146-147). In the context of schools, the narrowness and length of corridors restricted student movement, promoting a controlled, hierarchical structure. Moreover, these spaces became a form of punishment in themselves, that is to say, when students were inattentive, disruptive, or misbehaving in class, they were often sent to the corridors as a disciplinary measure. The act of being separated from the classroom, away from their classmates, and placed in an isolated corridor served as a symbolic and physical removal from the learning environment and reinforcing their marginalization (Hertzberger, 2008, pp. 41-42). Therefore, functioning as a transitional and punitive zone, the corridor was a space of exclusion, devoid of engagement or educational value. In this empty environment, students were left to endure the discomfort of physical cold, the emotional isolation of being separated from the class, and, above all, the boredom of being disconnected from the learning process (Figure 2).



Figure 2. Corridor design can contribute to isolation and reinforce exclusionary practices.

Moreover, linear school corridors, often characterized by their narrowness and lack of visual connectivity, have also been identified as environments that can inadvertently foster negative student behaviors, such as bullying. The spatial configuration of these corridors, typically long, enclosed, and visually restricted, limits opportunities for natural supervision and informal adult oversight (Daniels, Tse, Stables, & Cox, 2018). As a result, these spaces can become socially vulnerable zones where undesirable behaviors occur out of the protective gaze of teachers and staff. Numerous studies in environmental psychology and educational design have pointed to the correlation between poorly supervised school spaces and the incidence of bullying and social exclusion (Francis, et al., 2022). In narrow corridors where sightlines are minimal and student movement is tightly regulated, individuals can be more

easily targeted without detection. The absence of openness, transparency, and spatial variation not only hinders monitoring but also fails to support positive social interaction that could act as a buffer against harmful behavior. Thus, while these corridors were originally designed for functional efficiency, their spatial properties often undermine student safety and psychological comfort. By failing to account for the social dynamics that unfold within them, traditional corridor designs have, in many cases, unintentionally enabled a hidden architecture of risk within educational settings (Figure 3).



Figure 3. Narrow corridors with limited visibility create hidden spaces that facilitate negative behaviors like bullying.

The Shift toward Open and Flexible Circulation Spaces

The second half of the 20th century marked a turning point in school design, as progressive educational philosophies began to challenge the rigid spatial structures of traditional schools (Hertzberger, 2008). Following the Second World War, the flexibility of interior spaces in school buildings became a priority, as open-plan schools gained prominence due to both financial and pedagogical considerations. Open-plan designs, which featured spatial continuity and flexible layouts, reflected a shift toward teaching methods that encouraged student engagement in self-initiated, creative activities. Movable partitions and adaptable furniture were used to support differentiated instruction, allowing for greater flexibility and collaboration (Sailer, 2018). These changes in school design were directly influenced by the progressive theories of educational scholars, such as Maria Montessori and Ovide Decroly, whose approaches emphasized the importance of spatial flexibility in fostering active learning environments (Tsoukala, 2017). Influenced by evolving pedagogical approaches, architects and educators started rethinking school circulation and learning environments, gradually breaking down the strict spatial divisions that had previously defined educational institutions.To transform corridors into "inhabitable" spaces that serve as true extensions of the classrooms, a complete redesign was necessary. Aesthetic improvements and enhanced lighting were introduced to create spaces that are not only functional but also welcoming and conducive to learning (Hertzberger, 2008). These reimagined environments now accommodate a variety of activities, encouraging interaction, collaboration, and informal learning beyond the confines of the traditional classroom.

As a result of this shift in spatial thinking, circulation areas have been integrated into the broader educational ecosystem. Schools began incorporating wider corridors, breakout areas, and multi-purpose staircases, fostering greater student interaction and informal learning opportunities (Tsoukala, 2017). The hierarchical model of the teacher-dominated classroom gave way to more democratic, collaborative spaces, where students could engage in different learning methods beyond the traditional classroom setting (OECD, 2006). Accordingly, school architecture evolved to support diverse educational experiences, accommodating group work, self-directed learning, and social interaction within circulation spaces (Sailer, 2018). Design strategies prioritize visual connectivity, natural light, acoustic transparency, and spatial fluidity, all of which contribute to safer and more engaging school environments (Daniels, Tse, Stables, & Cox, 2018). Ultimately, this architectural turn underscores a reconceptualization of circulation not as a neutral or secondary backdrop, but as a critical spatial medium that shapes the educational and social dynamics of school life. It suggests a more democratic approach to learning environments, in which the boundaries between movement, interaction, and learning are fluid and continuously negotiated.

Contemporary Circulation Spaces: Evolving from Passive, Rigid Areas to Active, Flexible, and Healthy Environments

In contemporary school design, circulation spaces are increasingly viewed as integral to the social, physical, and educational fabric of the school, serving as dynamic environments that foster student interaction, collaboration, and informal learning. These spaces now play a critical role in promoting students' holistic development, encouraging not only social engagement but also physical health and emotional well-being. Large windows, strategically placed along these spaces, and integrated reading areas positioned adjacent to circulation zones allow natural light to flood into classrooms, creating a bright and inviting atmosphere. These features transform the traditional, often monotonous corridor into a vibrant environment that supports a wide range of activities such as play, learning, and informal gatherings (Figure 4). The design of multi-functional circulation spaces, characterized by flexibility, dynamic interaction, and the ability to support unscripted activities, is increasingly central to modern educational environments. Wide hallways are furnished with seating areas, writable walls, and display zones, encouraging students to pause, discuss ideas, sketch, or engage in creative thinking (Figure 5). This transformation signifies a paradigm shift in how circulation spaces are conceived. Today, these spaces are reimagined as active, flexible environments that can support spontaneous interactions among students, rather than being passive, utilitarian zones. The concept of the "learning street" epitomizes this evolution, as it reflects the desire to blur the boundaries between formal classrooms and informal learning environments (Hertzberger, 2008). By doing so, schools foster a fluid and interactive atmosphere, where movement and learning are seamlessly integrated across the entire building.



Figure 4. Cheer Kindergarten, China, hibinosekkei + Youji no Shiro, Source (Archdaily)



Figure 5. Left. C.O Kindergarten and Nursery (Hibinosekkei + Youji no Shiro), Middle. Szentpéterfa Elementary School (Can Architects), Right. Fales Elementary School

As exemplified in Ørestad High School, designed by 3XN Architects (Figure 6), contemporary educational architecture reimagines circulation as central components of the learning environment. The design of Ørestad High School emphasizes the importance of visual and spatial connections through an open layout, with a central atrium and circulation routes that span across multiple levels. These open spaces encourage a fluid movement pattern throughout the school, where students can encounter and interact with one another in informal settings. The integration of wide staircases, which were traditionally purely functional elements, has evolved into sculptural, aesthetic features that enhance the spatial perception of the school while also contributing to its social identity. The redesign of these circulation spaces as interactive hubs highlights a shift toward prioritizing the human experience in architectural design, making movement within the school a part of the educational journey itself.

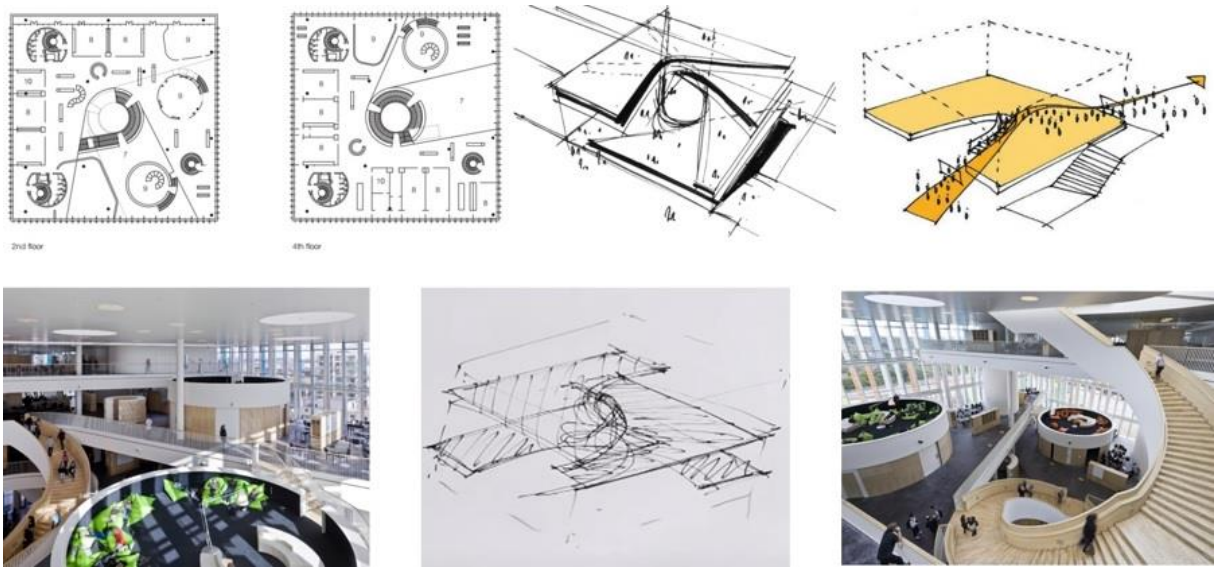


Figure 6. Ørestad High School designed by 3XN Architects. Source (Schittich, 2013)

Contemporary school designs also emphasize visual connectivity and spatial openness in circulation spaces to foster a safer, more inclusive environment. By incorporating features such as large windows, open sightlines, and transparent barriers, modern corridors and staircases enable greater supervision while enhancing the sense of collective oversight among peers, teachers, and other school authorities. These design strategies ensure that all students, including those in potentially vulnerable situations, are visible to others, reducing opportunities for negative behaviors such as bullying. This enhanced transparency in the school environment not only contributes to the prevention of harmful behaviors but also helps cultivate an atmosphere of inclusivity and mutual respect (Daniels, Tse, Stables, & Cox, 2018).

Moreover, the visual connectivity within circulation spaces plays a vital role in promoting student well-being. Open, visible environments encourage positive social interactions by creating a sense of shared responsibility and belonging. The physical visibility of students in these spaces helps prevent isolation and marginalization, which are critical factors in promoting a healthy social environment. These strategies signal the school's commitment to student safety and emotional support through the very design of the space. The incorporation of visual cues throughout circulation areas fosters a culture of care, contributing to the overall well-being of students. By eliminating hidden zones and providing clear sightlines, these spaces act as deterrents to negative behavior, promoting positive social dynamics and a stronger sense of community.

In addition to fostering social interaction, contemporary circulation spaces are also designed to promote physical activity and mental well-being. For example, wide corridors and open staircases are thoughtfully designed to encourage students to take the stairs over elevators, promoting physical activity throughout the school day. Interactive zones within these circulation spaces, such as seating areas and collaborative spaces, allow students to engage

with their classmates in informal settings, further enhancing social connections and engagement (Figure 7). The integration of natural light, transparent walls, and visual connections throughout circulation spaces not only enhances physical movement but also supports students' emotional well-being. Open, well-lit environments reduce feelings of stress or anxiety, contributing to a positive school atmosphere. They reinforce the school's role as a nurturing environment for both educational and personal growth.



Figure 7. Left. Jungfernsee primary school in Potsdam. Right. Herresta school in Järfälla, Sweden

CONCLUSION

In conclusion, the transformation of school circulation spaces from narrow and utilitarian spaces to dynamic, multifunctional environments indicates a broader commitment to student well-being, inclusivity, and the prevention of harmful behaviors. No longer conceived as mere transitional zones, these spaces now actively promote physical activity, social engagement, and emotional support, fostering a more holistic approach to educational environments. Through thoughtful design interventions such as open sightlines, flexible layouts, and visual transparency, circulation spaces reduce isolation, encourage interaction, and contribute to safer, more welcoming school communities.

Despite these advancements, further research is needed to examine the long-term impact of contemporary circulation space design on student well-being and social behavior. Future studies could explore how cultural and regional differences influence the effectiveness of these designs, as well as the psychological effects of specific spatial features, including color, materiality, and environmental quality. Moreover, the integration of interactive technologies into these spaces opens new possibilities for enhancing connectivity, supervision, and student experience, necessitating deeper investigation. Finally, the design of circulation spaces plays a vital role in shaping the social and emotional life of schools. As educational environments continue to evolve, understanding how these spaces support well-being, foster interaction, and prevent exclusion will be essential in creating more nurturing and inclusive spaces for all learners.

REFERENCES

Aktürk, E., Midilli Sarı, R., & Al Şensoy, S. (2024). Sosyalleşmenin Okul Aidiyeti Duygusundaki Yeri ve Fiziksel Çevreye Yansıması: Okul Sirkülasyon Alanları Örneği. GRID - Architecture Planning and Design Journal, 7(1), 245-275. https://doi.org/10.37246/grid.1306941

Al Şensoy, S. (2018). Eğitim Yapılarında Sirkülasyon Alanları. Uluslararası Hakemli Tasarım ve Mimarlık Dergisi, 14, 175-200. doi:10.17365/TMD.2018.2.2

Daniels, H., Tse, H. M., Stables, A., & Cox, S. (2018). School design matters. H. M. Tse, H. Daniels, A. Stables, & S. Cox içinde, Designing Buildings for the Future of Schooling (s. 41-65). London: Routledge.

Dudek, M. (2007). Schools and Kindergartens: A Design Manual. Berlin: Birkhäuser Basel.

Foucault, M. (1995). Discipline and Punish: The Birth of the Prison. NEW YORK: Vintage Books.

Francis, J., Strobel, N., Trapp, G., Pearce, N., Vaz, S., Christian, H., . . . Cross, D. (2022). How does the school built environment impact students' bullying behaviour? A scoping review. Social Science & Medicine, 314, 115451. https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2022.115451 adresinden alındı

Hertzberger, H. (2008). Space and Learning: Lessons in Architecture 3. Rotterdam: 010 publishers.

OECD. (2006). 21st Century Learning Environments. Organization for economic co-operation and development. Paris: OECD Publications.

Sailer, K. (2018). Corridors, classrooms, classification: The impact of school layout on pedagogy and social behaviours. H. M. Tse, H. Daniels, A. Stables, & S. Cox içinde, Designing Buildings for the Future of Schooling (s. 87-111). London: Routledge. https://doi.org/10.4324/9781315148366 adresinden alındı

Schittich, C. (2013). Designing Circulation Areas. Stairs, ramps, lifts. Routing. Planning principles. München: DETAIL.

Tsoukala, K. (2017). Fluid Space and Transformational Learning. New York: Routledge.

https://www.youtube.com/watch?v=P-L8Ra-PMyU

https://www.swedishwood.com/publications/wood-magazine/2016-2/climate-friendly-innovation/

https://3xn.com/project/orestad-college

https://www.archdaily.com/941108/wooden-architecture-for-children-designing-warm-and-playful-spaces

https://www.archdaily.com/1025442/cheer-kindergarten-hibinosekkei-plus-youji-no-shiro

ELEŞTİREL DÜŞÜNME VE MİMARLIK EĞİTİMİ ÜZERİNE ÇALIŞMALAR: BİBLİYOMETRİK BİR ANALİZ

STUDIES ON CRITICAL THINKING AND ARCHITECTURAL EDUCATION: A BIOMETRIC ANALYSIS

Sevde DİNÇER
PhD Student, Karadeniz Technical University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Architecture
ORCID NO: 0000-0003-4588-2222

Hare KILIÇASLAN
Assoc. Prof. Dr., Karadeniz Technical University, Faculty of Architecture, Department of Architecture
ORCID NO: 0000-0002-6113-7962

ÖZET

Eleştirel düşünme, son yıllarda özellikle eğitim alanında giderek daha fazla araştırılan ve tartışılan bir konu haline gelmiştir. Eleştirel düşünme genel anlamda bir durumu mantıklı bir biçimde sorgulamayı ve değerlendirmeyi içeren kapsamlı bir süreçtir. Bu açıdan eleştirel düşünme becerisi, düşünme sürecinin yoğun olduğu mimarlık gibi disiplinlerde daha da önem kazanmaktadır. Son yıllarda mimarlık eğitimi alan öğrencilerin eleştirel düşünme becerisi bağlamında eksikliklerinin olduğu ve bu durumun eğitimin kalitesini olumsuz yönde etkilediği düşünülmektedir. Dolayısıyla eleştirel düşünmeye yönelik nitelikli çalışmaların incelenmesi, üretilmesi ve yaygınlaştırılması büyük önem taşımaktadır. Bu doğrultuda çalışmanın amacı, eleştirel düşünme ve mimarlık eğitimi üzerine yapılan çalışmaların *Web of Science* veri tabanı üzerinden bibliyometrik analiz yöntemiyle incelenmesi ve mevcut durumun ortaya çıkarılmasıdır. Bu çalışma kapsamında genel bir çerçeve sunulması amacıyla eleştirel düşünme ve eğitim ekseninde yapılan yayınların yıllara ve kategorilere göre dağılımı incelenmektedir. Ardından, eleştirel düşünme ve mimarlık eğitimini konu alan yayınlar; yıl, kategori, ülke, anahtar kelime ve atıf sayısı açısından analiz edilmiştir. Yapılan analiz sonucunda eleştirel düşünme kapsamında yapılan yayınların oldukça sınırlı olduğu, eleştirel düşünmenin tasarım süreci, tasarım eğitimi ve yaratıcılıkla ilişkilendirildiği görülmekte ve son yıllarda dijital araçlarla ilişkili olan yayınların ilgi çektiği belirlenmektedir. Buradan yola çıkılarak eleştirel düşünmenin nasıl öğretilebileceği ve geliştirilebileceğine yönelik nitelikli akademik çalışmaların ve mimarlık eğitiminde eleştirel düşünme becerilerinin geliştirilmesine yönelik araştırmaların artarak devam etmesinin önemi vurgulanmaktadır.

Anahtar kelimeler: Eleştirel Düşünme, Mimarlık Eğitimi, Bibliyometrik Analiz, Web of Science.

ABSTRACT

Critical thinking has become an increasingly researched and discussed topic in recent years, especially in the field of education. Critical thinking is a comprehensive process that involves questioning and evaluating a situation logically. In this respect, critical thinking skill gains more importance in disciplines such as architecture where the thinking process is intense. In recent years, it is thought that students studying architecture have deficiencies in the context of critical thinking skills and this situation negatively affects the quality of education. Therefore, it is important to examine, produce and disseminate qualified studies on critical thinking. In this direction, this study aims to examine the studies on critical thinking and architectural education through the *Web of Science* database by bibliometric analysis method and to reveal the current situation. Within the scope of this study, to provide a general framework, the distribution of publications on the axis of critical thinking and education according to years and categories is examined. Then, publications on critical thinking and architectural education were analysed in terms of year, category, country, keyword and number of citations. As a result of the analysis, it is seen that the publications on critical thinking are quite limited, critical thinking is associated with the design process, design education and creativity, and publications related to digital tools have attracted attention in recent years. From this point of view, the importance of qualified academic studies on how critical thinking can be taught and developed and the importance of increasing research on the development of critical thinking skills in architectural education is emphasised.

Keywords: Critical Thinking, Architectural Education, Bibliometric Analysis, *Web of Science.*

GİRİŞ

Eleştirel düşünme, 21. yüzyılda özellikle eğitim alanında önemli bir araştırma konusu haline gelen ve evrensel olarak kesin bir tanımı yapılamayan bir kavramdır (Berg vd., 2021; Kleemola, 2021; Song, 2016). Eleştirel düşünme genel anlamda; sorgulama, problem çözme gibi farklı becerileri içerisinde barındıran ve yorumlama, öz değerlendirme ve soru sorma gibi farklı eylemlerle şekillenen bir düşünme süreci olarak tanımlanabilir (Dienichieva vd., 2024; Halpern, 2003; Maiorana, 1992; McKnown, 1997; Watson ve Glaser, 1964). Amerikan Felsefe Derneği (APA) eleştirel düşünmeye yönelik kapsamlı bir proje yürütmüştür. Bu bağlamda uzmanların görüşleri doğrultusunda elde edilen Delphi raporuna göre eleştirel düşünme; altı temel beceriden (yorumlama, analiz, değerlendirme, tümdengelim, açıklama ve öz düzenleme) ve yedi eğilimden (gerçeği arama, açık fikirlilik, analitiklik, sistematiklik, öz güven, meraklılık, olgunluk) oluşmaktadır (Facione, 1990).

Eleştirel düşünme, son dönemlerde eğitim toplulukları ve kurumsal yapılanmaların üzerinde çalıştığı ve tartıştığı bir konu haline gelmiştir (Song, 2016). Bu bağlamda eleştirel düşünme becerisinin önem kazandığı disiplinlerden biri de mimarlıktır. NAAB (National Architectural

Accrediting Board) ve MİAK (Mimarlık Eğitimi Akreditasyon Derneği) gibi mimari platformlar, eleştirel düşünme becerisine dikkat çekmekte ve bu beceriyi akreditasyon kriterleri bağlamında değerlendirmektedir (URL-1; URL-2).

Mimarlık eğitiminin hem teorik hem de uygulamalı derslerinde eleştirel düşünme becerisi oldukça önemlidir. Özellikle tasarım eğitiminde bireysellik ve içsel dinamikler ön planda olduğundan eleştirel düşünme becerisinin daimî olarak geliştirilmesi gerekmektedir (Anderson, 2014). Eleştirel düşünme becerisi sayesinde öğrenci neyi neden yaptığını farkına varabilmekte, tasarım sürecini iyi bir şekilde yönetebilmekte ve nitelikli tasarımlar ortaya çıkarabilmektedir. Bu bağlamda eğitimci; öğrenciye düşünmeyi ve sorgulamayı öğretmeli, öğrencilerin bilişsel yeterliliklerini artırmalı ve öğrencilerin kendi başlarına yürümelerine yardımcı olmalıdır (Onat, 2016). Eğitimcinin öğrenciyi merkeze alması, ona soru sorması ve kendisini ifade etmesine izin vermesi; eleştirel düşünmenin gelişimi açısından oldukça önem taşımaktadır (Barrett, 2020; Yurtsever, 2017).

Eğitimde eleştirel düşünme becerisinin geliştirilmesine yönelik bir dizi teknik, yaklaşım ve sürecin olduğu görülmektedir. Özellikle öğrencilerin eleştirel düşünme becerilerini geliştirebilmeleri için farklı yöntem ve tekniklerin bir arada kullanılması önemlidir (Nor ve Sihes, 2021). Mimarlık eğitiminde de eleştirel düşünmeyi öğretmenin ve geliştirmenin farklı yolları bulunmaktadır (Kassim, 2021; Stead, 2003; Utaberta vd., 2010; Yurtsever, 2017). Günümüzde öğrencilerin eleştirel düşünme becerilerinde büyük eksikliklerinin olduğu ve bu durumun da eğitimin kalitesini olumsuz yönde etkilediği görülmektedir (MOBBİG sonuç raporu, 2024). Dolayısıyla geleneksel eğitim yöntemlerinin öğrencilerin eleştirel düşünme becerilerini geliştirmekte yetersiz kaldığı anlaşılmaktadır (Salama, 2008; Salama, 2021). Bu nedenle eğitimin tüm aktörlerinin eleştirel düşünme becerisinin önemini kavraması ve bu beceriyi geliştirmenin yollarını araması gerekmektedir. Bu doğrultuda eleştirel düşünme ve mimarlık eğitimi kapsamında yapılan nitelikli çalışmaların niceliksel ve içeriksel verilerinin açığa çıkarılması, eğitimin tüm aktörlerine ve gelecek çalışmalara yol göstermek açısından oldukça önem taşımaktadır. Bu bağlamda çalışmanın amacı, eleştirel düşünme ve mimarlık eğitimi üzerine yapılan çalışmaların bibliyometrik analiz yöntemiyle incelenmesi ve mevcut durumun ortaya çıkarılmasıdır.

YÖNTEM

Bibliyometrik analiz; belirli bir disiplindeki kalıpları, eğilimleri ve etkileri belirlemek amacıyla bilimsel araştırmalarda yürütülen nicel ve istatistiksel bir yöntemdir. Analizin başlıca adımları; ilgili veri tabanlarından verileri toplama, verileri temizleme ve verileri çeşitli bibliyometrik yöntemlerle inceleme şeklinde sıralanabilir (Passas, 2024). *Web of Science, Scopus* ve *Google Scholar* gibi veri tabanları üzerinden bibliyometrik analiz yapılabilmektedir (Harzing ve Alakangas, 2016). *Bibliometrix* veya *VOSviewer* gibi yazılımlar kullanılarak analiz bulguları görselleştirilebilmektedir (Passas, 2024).

Çalışma kapsamında öncelikle *Web of Science* veri tabanında "eleştirel düşünme" ve "eğitim" kapsamında yapılan çalışmaların "yıllara" ve "kategorilere" göre dağılımı incelenmiştir. Bunun amacı mimarlık disiplininde yapılan çalışmaları sayısal olarak diğer disiplinlerle karşılaştırabilmektir. İkinci aşamada ise "eleştirel düşünme" ve "mimarlık eğitimi" kapsamında yapılan çalışmalar; "yıl", "kategori", "ülke", "anahtar kelime" ve "atıf sayısı" bağlamında analiz edilmiştir. Bibliyometrik analiz sonuçlarının görselleştirilmesinde *VOSviewer* (version 1.6.20) paket programından yararlanılmıştır.

BULGULAR

Araştırmanın ilk aşamasında *Web of Science* veri tabanında "*topics*" seçeneği işaretlenerek ilk satıra "*critical thinking*", ikinci satıra "*education*" yazılmıştır. Bunun sonucunda 05.04.2025 tarihinde veri tabanında "20,866" adet sonuca ulaşılmıştır. Elde edilen veriler doğrultusunda eleştirel düşünme ve eğitim bağlamında ilk çalışmanın 1952 yılında yapıldığı görülmektedir. Tablo 1'de de görüldüğü üzere, son 19 yılda yayın sayısının düzenli bir biçimde arttığı anlaşılmaktadır.

Tablo 1. Yayın Sayılarının Yıllara Göre Dağılımı

Yayın Yılı	Yayın Sayısı (n)	Yüzde (%)	Yayın Yılı	Yayın Sayısı (n)	Yüzde (%)
2025	536	2.569%	2002	62	0.297%
2024	2,312	11.080%	2001	52	0.249%
2023	1,831	8.775%	2000	101	0.484%
2022	1,669	7.999%	1999	57	0.273%
2021	1,638	7.850%	1998	58	0.278%
2020	1,604	7.687%	1997	56	0.268%
2019	1,553	7.443%	1996	39	0.187%
2018	1,337	6.408%	1995	47	0.225%
2017	1,147	5.497%	1994	23	0.110%
2016	959	4.596%	1993	20	0.096%
2015	915	4.385%	1992	21	0.101%
2014	864	4.141%	1991	11	0.053%
2013	741	3.551%	1990	3	0.014%
2012	654	3.134%	1989	5	0.024%
2011	559	2.679%	1988	2	0.010%
2010	537	2.574%	1987	1	0.005%
2009	363	1.740%	1986	1	0.005%
2008	308	1.476%	1984	1	0.005%
2007	239	1.145%	1983	4	0.019%
2006	174	0.834%	1982	3	0.014%
2005	182	0.872%	1967	1	0.005%
2004	95	0.455%	1965	1	0.005%
2003	79	0.379%	1952	1	0.005%

*Veriler, 05.04.2025 tarihinde *Web of Science* veri tabanından derlenmiştir.

Yayın sayılarının *Web of Science* kategorilerine göre dağılımı incelendiğinde sırasıyla; *Education Educational Research* (Eğitim ve Eğitim Araştırmaları) (n=10,148), *Education Scientific Disciplines* (Eğitim Bilimsel Disiplinler) (n=2,488), *Nursing* (Hemşirelik) (n=1,552), *Social Sciences Interdisciplinary* (Disiplinler Arası Sosyal Bilimler) (n=696) ve *Computer Science Interdisciplinary Applications* (Bilgisayar Bilimi Disiplinler Arası Uygulamalar) (n=564) kategorilerinin öne çıktığı görülmektedir. Mimarlık kategorisi, 48.

sırada yer almaktadır. Yayın sayılarına göre ilk 10 içerisinde yer alan kategoriler, Tablo 2'de sunulmaktadır.

Tablo 2. Yayın Sayılarının *Web of Science* Kategorilerine Göre Dağılımı

Yayın Kategorisi	Yayın Sayısı (n)	Yüzde (%)
Education Educational Research	10,148	48.634%
Education Scientific Disciplines	2,488	11.924%
Nursing	1,552	7.438%
Social Sciences Interdisciplinary	696	3.336%
Computer Science Interdisciplinary Applications	564	2.703%
Health Care Sciences Services	457	2.190%
Management	447	2.142%
Engineering Multidisciplinary	428	2.051%
Public Environmental Occupational Health	422	2.022%
Environmental Studies	382	1.831%

*Veriler, 05.04.2025 tarihinde *Web of Science* veri tabanından derlenmiştir.

Araştırmanın ikinci aşamasında *Web of Science* veri tabanında "*topics*" seçeneği işaretlenerek ilk satıra "*critical thinking*", ikinci satıra "*architectural education*" yazılmıştır. Bunun sonucunda 05.04.2025 tarihinde veri tabanında "135" adet sonuca ulaşılmıştır. Elde edilen veriler doğrultusunda eleştirel düşünme ve mimarlık eğitimi bağlamında ilk çalışmanın 2005 yılında yapıldığı görülmektedir. En çok yayın 2023 yılında (n=15) yapılmıştır (Tablo 3).

Tablo 3. Yayın Sayılarının Yıllara Göre Dağılımı

Yayın Yılı	Yayın Sayısı (n)	Yüzde (%)
2025	5	3.704%
2024	8	5.926%
2023	15	11.111%
2022	7	5.185%
2021	10	7.407%
2020	6	4.444%
2019	12	8.889%
2018	14	10.370%
2017	11	8.148%
2016	9	6.667%
2015	10	7.407%
2014	3	2.222%
2013	5	3.704%
2012	3	2.222%
2011	5	3.704%
2010	1	0.741%
2009	3	2.222%
2008	6	4.444%
2007	1	0.741%
2005	1	0.741%

*Veriler, 05.04.2025 tarihinde *Web of Science* veri tabanından derlenmiştir.

Yayın sayılarının *Web of Science* kategorilerine göre dağılımı incelendiğinde sırasıyla; *Architecture* (mimarlık) (n=55), *Education Educational Research* (Eğitim ve Eğitim Araştırmaları) (n=45), *Computer Science Interdisciplinary Applications* (Bilgisayar Bilimi

Disiplinler Arası Uygulamalar) (n=10), *Construction Building Technology* (İnşaat Bina Teknolojisi) (n=9) ve *Education Scientific Disciplines* (Eğitim Bilimsel Disiplinler) (n=9) kategorilerinin öne çıktığı görülmektedir. Yayın sayılarına göre ilk 10 içerisinde yer alan kategoriler Tablo 4'te verilmektedir.

Tablo 4. Yayın Sayılarının *Web of Science* Kategorilerine Göre Dağılımı

Yayın Kategorisi	Yayın Sayısı (n)	Yüzde (%)
Architecture	55	40.741%
Education Educational Research	45	33.333%
Computer Science Interdisciplinary Applications	10	7.407%
Construction Building Technology	9	6.667%
Education Scientific Disciplines	9	6.667%
Engineering Civil	8	5.926%
Art	7	5.185%
Engineering Multidisciplinary	7	5.185%
Humanities Multidisciplinary	5	3.704%
Regional Urban Planning	5	3.704%

*Veriler,05.04.2025 tarihinde *Web of Science* veri tabanından derlenmiştir.

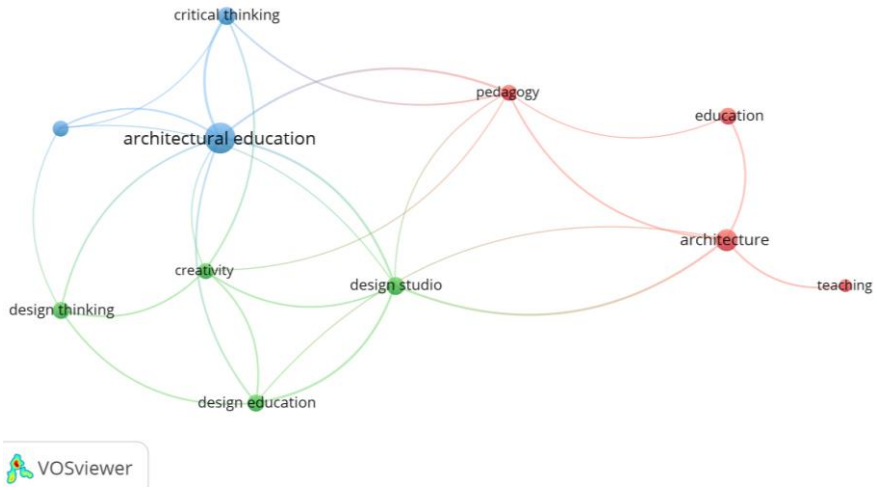
Yayınların ülkelere göre dağılımı incelendiğinde sırasıyla; *Türkiye* (n=21), *Spain* (İspanya) (n=17), *USA* (Amerika Birleşik Devletleri) (n=14), *England* (İngiltere) (n=9) ve *Australia* (Avusturalya) (n=6) ülkelerinin öne çıktığı görülmektedir. Yayın sayısına göre ilk 10 içerisinde yer alan ülkeler Tablo 5'te sıralanmaktadır.

Tablo 5. Yayınların Ülkelere Göre Dağılımı

Ülke	Yayın Sayısı (n)	Yüzde (%)
Türkiye	21	15.556%
Spain	17	12.593%
USA	14	10.370%
England	9	6.667%
Australia	6	4.444%
Peoples R China	5	3.704%
South Korea	5	3.704%
Belgium	4	2.963%
Egypt	4	2.963%
Portugal	4	2.963%

*Veriler, 05.04.2025 tarihinde *Web of Science* veri tabanından derlenmiştir.

Anahtar kelimelerin en az tekrar sayısı "5" olarak belirlendiğinde, bu eşik değerini karşılayan 492 anahtar kelimenin 11 grupta kümelendiği belirlenmiştir (Şekil 1). Yayınlarda tekrar sayısına göre sırasıyla; *Architectural education* (Mimarlık Eğitimi) (n=26), *Architecture* (Mimarlık) (n=13), *Critical thinking* (Eleştirel düşünme) (n=9), *Design studio* (Tasarım stüdyosu) (n=9) ve *Design education* (Tasarım eğitimi) (n=8) anahtar kelimelerinin öne çıktığı görülmektedir. Yayınlarda en çok öne çıkan ilk 10 içerisinde yer alan anahtar kelimeler Tablo 6'da sunulmaktadır.



Şekil 1. Yayınlarda Yer Alan Anahtar Kelimelerin Ortak Varlık Ağ Analizi

Tablo 6. Yayınlarda Yer Alan Anahtar Kelimeler ve Tekrar Sayıları

Anahtar Kelime	Tekrar Sayısı (n)	Toplam Bağlantı Gücü
Architectural education	26	17
Architecture	13	10
Critical thinking	9	9
Design studio	9	13
Design education	8	10
Design thinking	8	7
Education	8	3
Pedagogy	7	10
Architectural design	7	5
Creativity	7	10

*Veriler, 05.04.2025 tarihinde *Web of Science* veri tabanından derlenmiştir.

En az doküman sayısı "1" ve en az alıntılanma sayısı "0" kriterleriyle belirlenen ortak yazarlık analizi ağ haritasında 9 ayrı kümede birleşen 267 yazarın bulunduğu belirlenmiştir (Şekil 2). En çok atıf alan yayınlar bağlamında; Diao ve Shih (2019) (n=61), Cho (2017) (n=51), Eckenwiler (2018) (n=40), Khan vd. (2013) (n=26) ve Jin vd. (2019) (n=20) ön plana çıkmaktadır. Atıf sayısına göre ilk 10 içerisinde yer alan yayınlara ilişkin bilgiler Tablo 7'de verilmektedir.



Şekil 2. Ortak Yazarlık Ağ Analizi

Tablo 7. En Çok Atıf Alan Yayınlara İlişkin Bilgiler

Yazar	Yayın İsmi	Dergi	Atıf Sayısı (n)
Diao ve Shih (2019)	*Trends and research issues of augmented reality studies in architectural and civil engineering education—A review of academic journal publications*	Applied Sciences	61
Cho (2017)	*An investigation of design studio performance in relation to creativity, spatial ability, and visual cognitive style*	Thinking Skills and Creativity	51
Eckenwiler (2018)	*Displacement and solidarity: an ethic of place making*	Bioethics	40
Khan vd. (2013)	*Design for the ecological age: Rethinking the role of sustainability in architectural education*	Journal of Architectural Education	26
Jin vd. (2019)	*Comparisons of students' perceptions on BIM practice among Australia, China and UK*	Engineering, Construction and Architectural Management	20
Taneri ve Doğan (2021)	*How to learn to be creative in design: Architecture students' perceptions of design, design process, design learning, and their transformations throughout their education.*	Thinking Skills and Creativity	19
Sgambi vd. (2019)	*Active learning for the promotion of students' creativity and critical thinking: An experience in structural courses for architecture*	Archnet-IJAR	16
El-Kholei ve Yassein (2023)	*Embedding sustainability and SDGs in architectural and planning education: reflections from a KAP survey, Egypt*	Archnet-IJAR	15
Carnell (2015)	*Aiming for autonomy: formative peer assessment in a final-year undergraduate course*	Assessment & Evaluation in Higher Education	13
Kara (2015)	*A critical look at the digital technologies in architectural education: when, where, and how?*	Procedia-Social and Behavioral Sciences	13

*Veriler, 05.04.2025 tarihinde *Web of Science* veri tabanından derlenmiştir.

Diao'nun (2019) çalışmasında, artırılmış gerçekliğin (AR) mimarlık ve inşaat mühendisliği eğitimindeki yeri ve eleştirel düşünme becerisine etkisi incelenmiştir. Bu bağlamda çalışmada AR ve BIM teknolojilerinin bütüncül bir şekilde eğitim sistemine dâhil edilmesiyle öğrencilerin eleştirel düşünme becerilerinin gelişebileceği vurgulanmıştır. Cho'nun (2017) yapmış olduğu çalışmada, mimarlık bölümü öğrencilerinin bilişsel yeteneklerinin (yaratıcı düşünme, eleştirel düşünme vb.) tasarım stüdyosu performanslarıyla ilişkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma sonucunda bu iki verinin arasında bir korelasyonun olmadığı tespit edilmiştir. Eckenwiler (2018) yapmış olduğu çalışmada, mekân ve adalet kavramına değinerek yerinden edilme kavramını eleştirel bir şekilde değerlendirmiştir. Khan vd. (2013) yapmış olduğu çalışmada; tasarımcıları eleştirel bir tutuma teşvik etmek amacıyla sürdürülebilirlik bağlamında kavramsal, performans ve pedagojik olmak üzere üç düzeyden oluşan bir çerçeve önermiştir. Jin vd. (2019) deneysel çalışmasında, öğrencilerin BIM hakkındaki algılarını anket çalışması yoluyla tespit etmiştir. Bu bağlamda öğrenciler BIM'in olumlu ve olumsuz yönlerini eleştirel düşünme sürecine uygun bir şekilde ortaya çıkarmıştır. Taneri ve Doğan'ın (2021) çalışmasında; öğrencilerin tasarım, tasarım süreci ve tasarım

eğitimi algıları nitel ve nicel yöntemlerle araştırılmıştır. Bu bağlamda öğrenmede, eleştirel ve yansıtıcı düşünmenin oldukça önemli olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Sgambi vd. (2019) yaptığı deneysel çalışmada öğrencilerin inşaat mühendisliği konularıyla ilgili yaratıcılıklarını ve eleştirel düşünmelerini geliştirmek amacıyla aktif öğretim stratejilerini kullanmıştır. El-Kholei ve Yassein (2023) çalışmasında, öğrencilerin bilgi ve farkındalığının sürdürülebilir tasarımlar üzerindekini etkisini incelemiştir. Bu bağlamda çalışmada mevcut müfredatın yalnızca sürdürülebilirlik kavramlarına değil bunun yanında eleştirel düşünme gibi kavramlara da yer vermesi gerektiği önerilmiştir. Carnell (2015) yaptığı nitel çalışmada, akran değerlendirmesinin eleştirel düşünmeyi öğretmede bir strateji olarak kullanılabileceğini ortaya çıkarmıştır. Kara (2015) yaptığı çalışmada, dijital araçların mimarlık eğitiminde ne zaman, nerede ve nasıl kullanılabileceğini farklı örnekler üzerinden eleştirel bir şekilde tartışmıştır. Bu bağlamda en çok atıf alan çalışmalarda tasarım eğitimi, sürdürülebilirlik, dijital araçlar ve öğretim stratejileri gibi farklı konuların yer aldığı görülmektedir.

DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Çalışmada eleştirel düşünme ve mimarlık eğitimi üzerine yapılan yayınlar, bibliyometrik analiz yöntemiyle incelenmiştir. Bu bağlamda öncelikle tüm disiplinlerde eleştirel düşünme ve eğitim bağlamında yapılan çalışmaların yıllara ve kategorilere göre dağılımı incelenmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda *Web of Science* veri tabanında eleştirel düşünme ve eğitim üzerine yapılan yayınların genel anlamda yıllara göre artış gösterdiği anlaşılmaktadır. Yayınlar, kategoriler bağlamında incelendiğinde ise mimarlık kategorisinin 48. sırada yer aldığı görülmektedir. İkinci aşamada eleştirel düşünme ve mimarlık eğitimi kapsamında yapılan yayınlar farklı bağlamlarda analiz edilmiştir. Bu doğrultuda 135 yayına ulaşılmıştır. Mimarlık disiplininde eleştirel düşünmeyi ele alan çalışmaların diğer disiplinlere oranla oldukça az olduğu görülmektedir. Yayınların yıllara göre dağılımı incelendiğinde ise düzenli olmayan bir dağılımın olduğu anlaşılmaktadır. Eleştirel düşünme becerisinin mimarlık eğitiminde sürekli olarak tartışılması ve öneminin vurgulanmasına rağmen (Salama, 2008; Salama, 2021; URL-1; URL-2) mimarlık disiplininde yer alan yayınların sayısının az olduğu düşünülmektedir. Yayın sayıları ülke bağlamında incelendiğinde ise ilk sırada Türkiye'nin yer alması olumlu bir bulgu olarak değerlendirilebilir. Yayınlarda yer alan anahtar kelimelerin tekrar sayısı incelendiğinde mimarlık, eleştirel düşünme ve eğitim gibi kelimelerin yanında özellikle tasarım, tasarım eğitimi ve stüdyo gibi kelimelerin de sıklıkla kullanıldığı görülmektedir. Bu bağlamda eleştirel düşünme becerisinin tasarım eğitimindeki öneminin vurgulandığı söylenebilir. Ayrıca en sık tekrar edilen 10 anahtar kelime içinde yaratıcılığın yer alması eleştirel düşünme becerisinin farklı becerilerle olan ilişkisini göstermektedir. En çok atıf alan birinci (Diao, 2019) ve beşinci yayının (Jin vd., 2019) BIM ve/veya AR gibi dijital ve teknolojik alanlarla ilişkili çalışmalar olduğu ve onuncu yayının (Kara, 2015) da dijital araçları aktaran bir çalışma olduğu görülmektedir. Bu bağlamda eleştirel düşünme ve mimarlık eğitimi kapsamında yapılan çalışmaların bilişim ve teknoloji alanlarına yoğunlaştığı söylenebilir. Eleştirel düşünme ve mimarlık eğitimi kapsamında yer alan yayınlar

bulundukları kategori bağlamında incelendiğinde ilk beş kategori içerisinde bilgisayar bilimi ve inşaat bina teknolojisi gibi alanların bulunması da bu durumu destekler niteliktedir.

Sonuç olarak *Web of Science* veri tabanından elde edilen bulgulara göre mimarlık eğitimde kazanılması gereken en önemli becerilerden biri olan eleştirel düşünme becerisine (Kassim, 2021; Stead, 2003; URL-1; URL-2; Utaberta vd., 2010; Yurtsever, 2017) yönelik yapılan yayınların sayı bağlamında yeterli olmadığı düşünülmektedir. Eleştirel düşünme becerisi eksikliğinin eğitimin niteliğini olumsuz etkilediği (MOBBİG sonuç raporu, 2024) ve bu bağlamda geleneksel öğretim yöntemlerinin bazı noktalarda zayıf kaldığı görülmektedir (Salama, 2008; Salama, 2021). Dolayısıyla eleştirel düşünmenin nasıl öğretilebileceği ve geliştirilebileceğine yönelik nitelikli akademik çalışmaların yapılması ve bu çalışmaların artarak devam etmesi oldukça önem taşımaktadır. Bu çalışmada *Web of Science* veri tabanında yer alan çalışmalar bibliyometrik analiz yöntemiyle incelenmiştir. Gelecek çalışmalarda farklı veri tabanlarında (*Scopus*, TRDizin, *Google Scholar*, YÖKTEZ vb.) yer alan eleştirel düşünme ve mimarlık eğitimine yönelik yayınlar incelenerek daha kapsamlı bir analiz gerçekleştirilebilir.

KAYNAKLAR

Anderson, J. (2014). Mimari tasarım (Çev: Neslihan Şık) (2. Baskı), İstanbul: Literatür Yayınları.

Barrett, T. (2020). Eleştiri öğrenciler için bir rehber (Çev: M. Aşık Öztürk) (1. Baskı), İstanbul: Hayalperest Yayınevi Sanat Kuramları.

Berg, C., Philipp, R., & Taff, S. D. (2021). Scoping review of critical thinking literature in healthcare education. *Occupational Therapy in Health Care*, *37*(1), 18–39. https://doi.org/10.1080/07380577.2021.1879411

Carnell, B. (2015). Aiming for autonomy: formative peer assessment in a final-year undergraduate course. *Assessment & Evaluation in Higher Education*, *41*(8), 1269–1283. https://doi.org/10.1080/02602938.2015.1077196

Cho, J. Y. (2017). An investigation of design studio performance in relation to creativity, spatial ability, and visual cognitive style. *Thinking Skills and Creativity*, *23*, 67-78. https://doi.org/10.1016/j.tsc.2016.11.006

Diao, P. H., & Shih, N. J. (2019). Trends and research issues of augmented reality studies in architectural and civil engineering education—A review of academic journal publications. *Applied Sciences*, *9*(9), 1840. https://doi.org/10.3390/app9091840

Dienichieva, O. I., Komogorova, M. I., Lukianchuk, S. F., Teletska, L. I., & Yankovska, I. M. (2024). From reflection to self-assessment: methods of developing critical thinking in students. *International Journal of Computer Science & Network Security*, *24*(7), 148-156. https://doi.org/10.22937/IJCSNS.2024.24.7.18.

Eckenwiler, L. (2018). Displacement and solidarity: an ethic of place making. *Bioethics*, *32*(9), 562-568. https://doi.org/10.1111/bioe.12538.

El-Kholei, A.O., & Yassein, G. A. (2023), Embedding sustainability and SDGs in architectural and planning education: reflections from a KAP survey, Egypt, *Archnet-IJAR*, *17*(3), 459-477. https://doi.org/10.1108/ARCH-07-2022-0156

Facione, P. (1990). Critical thinking: a statement of expert consensus for purposes of educational assessment and ınstruction (The Delphi Report). https://philarchive.org/archive/faccta.

Halpern, D. F. (2003). Thought and knowledge: an introduction to critical thinking, Lawrence Erlbaum Associates Publishers, New Jersey. https://doi.org/10.4324/9780203393543

Harzing, A. W., & Alakangas, S. (2016). Google Scholar, Scopus and the Web of Science: a longitudinal and cross-disciplinary comparison. *Scientometrics, 106*, 787–804 https://doi.org/10.1007/s11192-015-1798-9

Jin, R., Zou, P.X., Li, B., Piroozfar, P., & Painting, N. (2019). Comparisons of students' perceptions on BIM practice among Australia, China and UK. *Engineering, Construction and Architectural Management*, *26*(9), 1899-1923. https://doi.org/10.1108/ECAM-07-2018-0275

Kara, L. (2015). A critical look at the digital technologies in architectural education: when, where, and how?. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, *176*, 526-530. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.01.506

Kassim, N., Noorhani, N. M. A., & Mustapha, A. A. (2021). Thematic review on the critical thinking in architectural education, 1st IAEEC Webinar Conference, 1-11.

Khan, A. Z., Vandevyvere, H., & Allacker, K. (2013). Design for the ecological age: Rethinking the role of sustainability in architectural education. *Journal of Architectural Education*, *67*(2), 175-185. https://doi.org/10.1080/10464883.2013.817155

Kleemola, K., Hyytinen, H., & Toom, A. (2021). Exploring internal structure of a performance-based critical thinking assessment for new students in higher education. *Assessment & Evaluation in Higher Education, 47*(4), 556–569. https://doi.org/10.1080/02602938.2021.1946482

Maiorana, V. P. (1992). Critical thinking across the curriculum: building the analitical classroom, Indiana: Eric Database.

McKnown, K. (1997). Fostering critical thinking, A Research Paper to Air Command and Staff College, Usa.

Mimarlık Okulları Bölüm Başkanları İletişim Grubu (MOBBİG 56) Sonuç Raporu. (2024). Web adresi: http://mobbig.mo.org.tr/mobbig-56-karadeniz-teknik-universitesi-trabzon-17-19-mayis-2024/ 19.02.2025

Nor, H. M., & Sihes, A. J. (2021). Critical thinking skills in education: a systematic literature review. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences, 11*(11), 198 – 201. http://dx.doi.org/10.6007/IJARBSS/v11-i11/11529

Onat, E. (2006). Mimarlığa yolculuk, İstanbul: Yapı-Endüstri Merkezi.

Passas, I. (2024). Bibliometric analysis: the main steps. *Encyclopedia, 4*(2), 1014-1025. https://doi.org/10.3390/encyclopedia4020065

Salama, A. M. (2008). A theory for integrating knowledge in architectural design education. *ArchNet-IJAR: International Journal of Architectural Research, 2*(1), 100-128.

Salama, A. M. (2021). Against the conventional studio pedagogy. In book: Transformative Pedagogy in Architecture and Urbanism, 121-155, Routledge (Taylor & Francis), DOI: 10.4324/9781003140047-5

Sgambi, L., Kubiak, L., Basso, N., & Garavaglia, E. (2019). Active learning for the promotion of students' creativity and critical thinking: an experience in structural courses for architecture. *Archnet-IJAR, 13*(2), 386-407. https://doi.org/10.1108/ARCH-11-2018-0018

Song, X. (2016). 'Critical thinking' and pedagogical ımplications for higher education. *East Asia, 33*, 25–40. https://doi.org/10.1007/s12140-015-9250-6

Stead, N. (2003). Producing critical thinkers, designing critical objects: Re-examining the role of critique in architectural education, In Design + Research: Project Based Research in Architecture. Proceedings of the Second International Conference of the Association of Architecture Schools of Australasia, ed. Sandra Kaji-O'Grady and Claire Newton, Melbourne, Australia, 3-12.

Taneri, B., & Doğan, F. (2021). How to learn to be creative in design: Architecture students' perceptions of design, design process, design learning, and their transformations throughout their education. *Thinking Skills and Creativity*, 39, 100781. https://doi.org/10.1016/j.tsc.2020.100781

URL-1, https://www.naab.org/accreditation/accreditation-criteria (Erişim Tarihi: 23.02.2025).

URL-2, https://www.miak.org/?p=sayfalar&sayfa_id=84 (Erişim Tarihi: 23.02.2025).

Utaberta N., Hassanpour B., & Usman I. (2010). Redefining critique methods as an assessment tools ın architecture design studio, *WSEAS transaction on advanced education, 7*(9), 359.

Yurtsever, B. (2017). Mimari tasarım eğitiminde eleştirel düşünme becerisinin rolüne ilişkin sorgulama, *Megaron, 12*(3), 385–394. https://dx.doi.org/10.5505/megaron.2017.67944

Watson, G., & Glaser, M. E. (1964). Watson-Glaser critical thinking appraisal manual, New York: Harcourt, Brace & World Inc.

MİMARİ TASARIMA ELEŞTİREL YAKLAŞIMLAR: MİMARLIK DERGİSİ ÜZERİNDEN İNCELEMELER

CRITICAL APPROACHES TO ARCHITECTURAL DESIGN: ANALYSES THROUGH THE MİMARLIK JOURNAL

Özlem Nur SAMANCI
PhD Student, Karadeniz Technical University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Architecture
ORCID NO: 0009-0006-6910-9858

Hare KILIÇASLAN
Assoc. Prof. Dr., Karadeniz Technical University, Faculty of Architecture, Department of Architecture
ORCID NO: 0000-0002-6113-7962

ÖZET

Bir olguyu derinlemesine işleyen eleştiri kavramı, süreç içerisinde doğru değerlendirilip sunulduğunda, topluma yüksek katkılar veren olumlu bir anlayışa dönüşmektedir. Eleştirinin asıl amacına ulaşması için eleştirilen olgunun bütünüyle derinlemesine işlenmesi gerekirken aynı zamanda detaylandırılan evrelerin; tarafsız, dengeli ve çözüm odaklı ilerlemesi sağlanmalıdır. Bu durum, çok katmanlı ve disiplinlerarası bir sistemden oluşan mimarlık alanındaki eleştiri kavramı içinde önemli bir yere sahip olmaktadır. Mimarlık disiplini, içerisinde insan ve mekânı barındırırken aynı zamanda çevreyle de ilişki kurması gerekli olan bir sanat olarak görülmektedir. Mimarinin bu çok yönlü yapısı, mimariyi eleştirirken de süreç içerisinde çok yönlü bir değerlendirmenin gerekliliğini ortaya koymaktadır. Disiplin, bağımsız düşünme ruhuna sahipken aynı zamanda da çevreye ve topluma karşı birtakım sorumluluklar oluşturacağı için eleştiri ağı da buna yönelik düşünülerek aşamalandırılmalıdır. Mimari eleştiride, yapılar incelenirken aynı zamanda yapının çevreyle kurduğu toplumsal, kültürel ve çevresel ilişkiler de değerlendirmektedir. Mimarlık eleştirisinde süreç yalnızca değerlendirme yapılarak son bulmaz, incelemeler aynı zamanda tasarım açısından yeni yaklaşımlara da olanak sağlar. Eleştiri, mimari tasarım sürecinde özgün düşünebilme becerisini besleyerek konsept çalışmalarının farklı boyutuna odaklanılmasına destek olur. Bu bağlamda; eleştiri olgusunu irdeleyen bu çalışmada, T.M.M.O.B. Mimarlar Odası Yayınları bünyesinde bulunan Mimarlık Dergisi'ndeki yazınların incelenmesine odaklanılmaktadır. Çalışmanın sınırlılığını, derginin "Mimarlık Eleştirisi" başlığında yer alan çalışmaların son 4 sayısındaki literatür derlemesi oluşturmaktadır. Bu çalışma, eleştiriyi ve eleştiri sürecini mimarlık disipliniyle ilişkilendirerek kendi kapsamı içinde sorgulamaktadır.

Anahtar kelimeler: Eleştiri, Mimarlıkta Eleştiri, Mimari Tasarım, Mimarlık Dergisi.

ABSTRACT

When the concept of criticism, which processes a phenomenon in depth, is evaluated and presented correctly in the process, it turns into a positive understanding that makes high contributions to society. For criticism to achieve its main purpose, the phenomenon being criticised must be processed in depth, while at the same time, the detailed phases must be ensured to proceed in an impartial, balanced and solution-oriented manner. This situation has an important place in the concept of criticism in the field of architecture, which consists of a multi-layered and interdisciplinary system. The discipline of architecture is seen as an art that needs to establish a relationship with the environment while harbouring people and space. This multifaceted structure of architecture reveals the necessity of a multifaceted evaluation in criticising architecture. While the discipline has the spirit of independent thinking, at the same time, since it will create some responsibilities towards the environment and society, the criticism network should be staged accordingly. In architectural criticism, while the buildings are analysed, the social, cultural and environmental relations that the building establishes with the environment are also evaluated. In architectural criticism, the process does not only end with an evaluation; the analyses also enable new approaches in terms of design. Criticism supports focusing on different dimensions of concept studies by nurturing the ability of original thinking in the architectural design process. In this context, this study, which examines the phenomenon of criticism, focuses on analysing the literature in the *Mimarlık* Journal, which is a part of T.M.M.O.B. Chamber of Architects Publications. The limitation of the study is the literature review of the last 4 issues of the journal under the title of "Architectural Criticism". This study questions criticism and the process of criticism within its scope by associating it with the discipline of architecture.

Keywords: Criticism, Architectural Criticism, Architectural Design, *Mimarlık* Journal.

GİRİŞ

Bir kişi, eser ya da konunun, doğru veya yanlışlarının bulup gösterilerek anlatılma olgusuna, eleştiri ya da tenkit etme denilmektedir. Eleştirmek, bir konu hakkında olumlu veya olumsuz düşünceleri ifade ederek eleştiri yapılan olguyu daha ileri taşımayı amaçlar (TDK, 2005). Eleştiri, insan için hem nazarî (*Sophia*) hem de amelî (*Phronesis*) anlamda olmazsa olmaz bir ihtiyaç olup anlama ve eyleme çıtasını devamlı olarak yükseltme isteğidir. Eleştiri olgusu; fikirlerin, inançların, tutumların ve davranışların kişinin iç gözü ve sesi (vicdan) ile kendi kendisini denetlemesiyle başlayarak bütün hayat felsefesini kapsar. Özgürlük, hayatın genişletilmesi ve seviyesinin yükseltilmesinin şartıyken, eleştiri özgürlüğü kişiliğe mâl edilmiş kavram ve değerlere göre insanın kendini belirleyebilme kabiliyetidir. Bundan dolayı, hayatı tek tipleştirip, varoluşu kapalı bir alan hâline getiren bütün girişimlere karşı olarak yaşam devamlı anlamlandırılmalı ve yorumlanmalıdır. Nitekim, belli bir varoluş tarzının sınırlarına hapsolma hali; bireyi silikleştirerek, kimlik ve özgürlüğü engellemeye başlar

(Kuvancı, 2021). Bu kapsam dâhilinde eleştirinin, bireyin yaşamında devamlı olması gereken bir sorgulama aracı olarak yer alması gerekmektedir.

Mimarlıkta eleştiri ise beğeni, kültürel değerler ve en önemlisi toplumsal iletişimle ilgili olmasından kaynaklı çok daha geniş bir kapsama sahiptir. Bu nedenle mimari eleştiri; ele alınması veya tanımlanması kolay olmayan bir olgular ağıdır. Mimari, geniş tasarım kapsamının yanında; diğer eleştiri alanları gibi felsefe, tarih, teori, sanat, bilgi ve pratikle de bağlantılıdır (Sharp, 1989). Çok katmanlı ve karmaşık ilişkileri kapsayan referanslar sisteminden oluşan mimarlık disiplinini; sosyo-kültürel ilişkiler, eylemler ve etkileşimler olduğu kadar ideolojik ve ekonomik referanslar da etkilemektedir (Gerçek Atalay & Uludağ, 2024). Belirli bir noktaya kadar mimaride ele alınması ve göz ardı edilmemesi gereken ekonomik ve toplumsal unsurların, denge dışına taştığı takdirde, mimari tasarımdaki özgün ve özgür ruhun önüne geçmesine izin verilmemelidir.

Mimari tasarımın, kendisinin üzerinde hâkimiyet kuran ekonomik sermayeden ve biçimsel modele indirgenen mimarlık anlayışından özgürleştirilmesi beklenmektedir. Ancak bu şekilde kimliğini kaybetmiş kent mekânı görüntülerinden kaçınılarak özgürleşme sağlanabilir. Mimarlığın yeniden anlamlı ve nitelikli üretimler ortaya koyabilmesi, özgürleşme zemininin sağlanabilmesine bağlıdır (Gerçek Atalay & Uludağ, 2024). Bu bağlamda; çalışma, mimarinin özgün düşünebilme niteliğini besleyen “mimari tasarımda eleştiri” konusunu esas almaktadır. Türkiye’de bulunan yapı tasarımlarını eleştirel bir bakış açısıyla değerlendiren, T.M.M.O.B. Mimarlar Odası Yayınları bünyesinde bulunan Mimarlık Dergisi’ndeki “mimarlık eleştirisi” alt temalı makalelerin incelendiği bu çalışmada, mimari tasarım olgusundaki eleştirel yaklaşımları derlenerek analiz edilmektedir.

YÖNTEM

Çalışmada, nitel araştırma yöntemlerinden biri olan doküman analizi kullanılmıştır. Doküman analizi; araştırması hedeflenen olgu veya olaylar hakkında bilgi içeren yazılı ve görsel materyallerin analizini kapsar. Doğrudan gözlem ve görüşme yapmanın mümkün olmadığı durumlarda doküman analizi, tek başına veri toplama yöntemi olarak kullanılmaktadır (Yıldırım & Şimşek, 2016).

Araştırmada örneklem olarak amaçlı örneklem yöntemi seçilmiştir. Mimarlık dergisi içeriğinde bulunan “mimarlık eleştirisi” konulu makaleleri kapsayan çalışma, derginin son dört yayınındaki proje literatürünün incelenmesinden oluşmaktadır (Tablo 1).

Tablo 1. Makale Künyeleri

Dergi	Makale Adı	Yazar	Yıl
MİM 431	Tensel ve Tinsel Mekân Arasında: Beylikdüzü Fatma Ana Cemevi ve Kültür Merkezi.	Özlem Erdoğdu Erkaslan	2023
MİM 430	Hasanpaşa'da Öncü Koruma Mücadelesi: Müze Gazhane.	A. Binnur Kıraç	2023
	İzmir'de Yeni Bir Açılım: Zone Ticaret Merkezi.	İpek Akpınar & Aysu Gürman	2023
MİM 429	Katmanlararası Müzakere: AKM Cumhurbaşkanlığı Senfoni Orkestrası Konser Salonu	Lale Özgenel	2023
MİM 424	Şaşırtıcı Bir "Var-Yer": Garanti Bbva Bankası Teknoloji Kampüsü	A. Derin Öncel	2022
	Rasyonel ile Doğal Arasında: Gökçeada Lise Kampüsü	Deniz Aslan	2022
	Korumada Bir Uzlaşı Alanı: Cunda Despot Evi	Deniz Özkut	2022
	Tip Projelere Alternatif Bir Yaklaşım Modeli: İSMEP ve Silivri Ortaokulu Örneği	Celal Abdi Güzer	2022

Yapı örneklerinin eleştirisinin bulunduğu yazınlarda, ilgili proje çizimleri ve görsellerden yararlanılarak, araştırmacıların yaklaşım ve fikirleri belirtilerek sentez bir çalışma yapılmıştır. Araştırma kapsamında derlenen proje künyeleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Proje Künyeleri

	Proje	Görsel	Konum	Tasarımcı	Yıl	Referans
MİM 431	Fatma Ana Cemevi ve Kültür Merkezi		İstanbul Beylikdüzü	Bilge Altuğ Mehmet Emin Polat Ata Kurt	2020	URL-1
MİM 430	Müze Gazhane Yeniden İşlevlendirme		İstanbul Kadıköy	Dicle B. Özdemir Kadir Uyanık Damla Çolakoğlu Tuncay Güner Cansu Özay	2019	URL-2
	Zone Ticaret Merkezi		İzmir Gaziemir	Tolga Kezer	2017	URL-3
MİM 429	AKM Cumhur-Başkanlığı Senfoni Orkestrası Konser Salonu		Ankara Altındağ	Semra Uygur Özcan Uygur	2021	URL-4

MİM 424	Garanti BBVA Bankası Teknoloji Kampüsü		İstanbul Pendik	Ali Hızıroğlu	2018	URL-5
	Gökçeada Lise Kampüsü		Çanakkale Gökçeada	Pınar Gökbayrak Ali Eray Burçin Yıldırım	2016	URL-6
	Cunda Despot Evi Yapı Koruma		Balıkesir Ayvalık	KHG Mimarlık	2019	URL-7
	İSMEP Silivri Ortaokulu		İstanbul Silivri	Semra Uygur Özcan Uygur	2019	URL-8

BULGULAR

Fatma Ana Cemevi ve Kültür Merkezi

Tasarlanan inanç yapılarının, fiziksel mekândan çok yaşanabilen ve deneyimlenebilen bir "yer" olması gerektiği fikriyle planlanan Fatma Ana Cemevi ve Kültür Merkezi; yaşam vadisi ve konut yerleşim alanı arasında bir geçiş mekânı özelliği taşımaktadır. Yapı, bu konumuyla açık/kapalı alanlarının çevresiyle iyi bir ilişki kurabileceği bir eşik mekân niteliği taşımaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Beylikdüzü Fatma Ana Cemevi ve Kültür Merkezi (URL-1)

Kültür Merkezi'nin bulunduğu alanın eğimli bir araziye sahip olması, alt kotta rekreasyon alanlarının çözülmesini, üst kot ise yapının cadde bölgesine platformla bağlanmasını sağlamıştır. Eğimli arazideki bu çözüm, farklı kotlarda farklı işlevlerden yararlanılmasına ve kullanıcıların mekândaki erişim kolaylığına olanak tanımaktadır. Ancak yapı içerisinde giriş

ve toplantı fuayelerinin birleştirilmesi, kamusallık sağlayabilecek mekânların açık kamusal alan ile ilişkisinin kopmasına neden olmaktadır. Yapı, zemin katta bütün bir kütle olarak var olurken, üst katta parçalanarak, bina ölçeğinde var olan hantallığı kırmaktadır. Dış cephede strüktür ve malzeme seçimi birbirleriyle uyum içerisinde olup, yapıya bütünlük kazandırmaktadır. Cephede kullanılan ahşap kaplama yüzeyler ve grid sistem benzer bir biçimde iç mekânda da sürekliliğini korumaktadır. Yapı içerisinde evsel ölçeğe yaklaşılmış olması, Cemevi tasarımlarının kültürel süreklilik bağlamında devam etmesini sağlamaktadır (Erdoğdu Erkaslan, 2023). Beylikdüzü Fatma Ana Cemevi ve Kültür Merkezi'nde tümü yapıya özgü detaylandırılmış ince yapı tasarımı ve kütlede kullanılan sade ve zamansız form, tasarım dilini katmanlı bir mekânsal deneyime dönüştürmektedir. Yapının mimarisinin malzeme seçimi ile kullanımındaki yalın ve incelikli duruşu, çevresindeki mekânlarla kurduğu doğru ilişkiyle birlikte özgün bir mekânsal atmosfer ile benzersiz ve işlevsel bir karakter uyumu sunmaktadır.

Müze Gazhane/Hasanpaşa Gazhanesi

Bütünleşik koruma ve tasarım kararları bağlamında yeniden işlevlendirmeye tâbi tutulmuş Hasanpaşa Gazhanesinde, yapının eski ruhu korunmaya çalışılarak yeniden tasarlanmış ve sosyal-kültürel alan olarak kente/kentliye kazandırılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Müze Gazhane/Hasanpaşa Gazhanesi (URL-2)

Projenin geneline bakıldığında; koruma ve yeniden işlevlendirme kararlarında alana bütüncül yaklaşılmış ve mevcut yapılar korunmuştur. Ek yapıların sınırlı sayıda tutulması ve korunmaya değer olmayan yapı parsellerine eklemlendirilmiş olması doğru bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir. Çağdaş ek alan yapıda ahşap malzeme ve form ile birlikte kontrast bir tasarım yaklaşımı izlenmiş, özgün yapı ile ek yapı arasındaki farklılıklar güçlü bir biçimde ortaya konulmuştur. Çatıdaki onarımda eski çatı ile yeni çatı sisteminin renk farkıyla belirtilmesi, mekânın geçmişine ait referansların korunması açısından olumlu bir karardır. Bölgede eskiden var olan ikisi tamamen yıkılmış, biri ise kısmen yıkılmış/sökülmüş olan ikonik Gazhanenin, yeniden yapılandırılması tesisin bütünlüğünün algılanabilmesi için verilen doğru kararlardan biridir. Bölgedeki Ga Gazometresi'nde ise özgün metal dış çeper korunarak yapıya çağdaş ek yapılmıştır. Tiyatro salonu olarak yeniden işlevlendirilen bu ek, fuaye mekânı olarak içeriden de izlenebilmekte, eklemlenen alan hem form hem de malzeme kontrastlığıyla özgünden ayrıştırılmaktadır. Eklemlenen alanda; üst katın, "gökyüzü bahçesi"

konseptinde, sosyal kullanım alanı olarak tasarlanması proje yaklaşımında olumlu görülen yanlardandır. Ancak peyzaj düzenlemesinde, üretimin ham maddesi olan kömürün, kirin ve pasın yansıtılmaması, endüstri mirasının somut ve somut olmayan değerlerinin bütünlük içinde algılanmasını zorlaştırmasına sebebiyet vermiştir (Kıraç, 2023). Yüksek dönüşüm potansiyeline sahip bir endüstri miras alanı olan Hasanpaşa Gazhanesi'nin yeniden işlevlendirme tasarım kararlarına genel olarak bakıldığında; kültürel miras algısının, merkezine insanı ve insanın emeğini alan, sosyal boyutun önemsendiği bir koruma/planlama sürecine tâbi tutulduğu görülmektedir.

Zone Ticaret Merkezi

Mekânlar arasında geçişlerin oluşturularak, karşılaşmaların sağlandığı ve diyalogların kurulduğu bir konseptte tasarlanan Zone Ticaret Merkezi; öncelikle, birbirinden farklı kent dokularını ve işlevlerini bir araya getiren bir arayüz olma niteliği taşımaktadır. Konut ve endüstriyel bölge arasında konumlanan proje, alanda bir eşik mekân niteliğindedir (Şekil 3).



Şekil 3. Zone Ticaret Merkezi (URL-3)

Tasarlanan projenin özel ve kamusal iki bölge arasında olup çevresiyle bağlantı kurması, yarı özel-yarı kamusal veya biraz içeride-biraz dışarıda olarak kurgulanan mekânların ortaya çıkmasına olanak tanımıştır. Yapı, kentsel ve mimari tasarım kararlarıyla, strüktür ve cephe malzemesi seçimleriyle bölgede özgünlük oluşturmaktadır. Ticari bloklar arasında geçirgen alanların ve iç avluların oluşturulması, kentliler/yapı kullanıcıları için esnek kamusal mekânlar sağlayarak, bölgede dışa dönük/etkileşime açık bir kent parçası oluşturmaktadır. Yapı kütlelerinde; zemin katlar geri çekilerek, arkadlar oluşturulması kullanıcıların yağmur ve güneş gibi farklı hava koşullarından etkilenmemesi sağlamaktadır. Ticari birimlerin zemin katlarının sergi birimi olarak tasarlanması ve sokaktan doğrudan erişim imkânınım sunulması, kamusal etkileşim ile kesintisiz erişimi desteklemektedir. Zemin kattaki birimler, doğal ışık ve havalandırmadan yararlanarak sürdürülebilirlik ilkeleriyle uyum içerisinde bulunmaktadır. Üç katlı ticari birimlerin, düz çatı üzerinde yeşil bölücülerle tanımlanan terasları, çalışanlar için açık mekân olanağı sağlamaktadır. Ayrıca, düz çatıların üzerine serilen çakıl taşlarının, blokların dış cephe rengiyle uyumlu seçilmesi, mekânsal kurgudaki uyumu ve bütünlüğü vurgulamaktadır (Akpınar & Gürman, 2023). Proje, alınan tasarım kararlarıyla, iki farklı kent dokusunu bir araya getirerek iletişim sağlaması ile öncül olmasının yanı sıra farklı proje

alanlarının birbirleriyle kesintisiz ve uyumlu iletişim sağlaması nedeniyle de yenilikçi bir proje niteliğindedir.

AKM Cumhurbaşkanlığı Senfoni Orkestrası Konser Salonu

Bulunduğu konumda simgesel bir yapı özelliği taşıyan AKM kompleksi; farklı mimari kurgusu, yapıda kullanılan inovatif teknolojilerle birlikte yer, aidiyet ve yere bağlılığı içeren özgün tasarım konseptleriyle bölgede zengin bir silüet niteliği taşımaktadır. Kompleksin tasarım anlayışı, çevresiyle güçlü bir etkileşim kurarken, görsel ve işlevsel açıdan da kent kimliğini yeniden şekillendirmeyi sağlar (Şekil 4).



Şekil 4. AKM Cumhurbaşkanlığı Senfoni Orkestrası Konser Salonu (URL-4)

Vaziyet planı örgüsünde, “su ile çevrelenen yapının görsel etkisinin” yansımalar ile güçleneceği fikriyle suyun kullanımı, konsept kararları arasında yer almaktadır. Tasarımın anlamlandırılması adına kullanılan suyun çevrelediği ada, yapıyı gölün içinde korumaya almıştır. Bu bağlamda; hareketli ve yansıtıcı bir yüzey olarak değerlendirilen su, dışavurumcu formuyla komplekse işaret değeri kazandırırken, fuaye ve salon mekânlarını hem ayıran hem de vurgulayan, deneyimsel ve sınır tanımlayıcı bir rol üstlenmiştir. Yapı tasarımında tercih edilmiş olan temel geometrik biçimlere (üçgen, prizma, küre vb.) sahip olan kompleks, çevresindeki binalardan ve kentteki diğer kamusal yapı komplekslerinden oldukça farklı bir mimari tasarıma sahiptir. Tasarımdaki mekânsal kurguyla birlikte bu kurguyu oluşturan katmanlar ve öğeler; ortogonal ve düzenli, keskin hatlara sahip ve alanın orta kısmında bir ada oluşturacak biçimde bir vaziyet planı oluşturacak şekilde çözülmüştür. Vaziyette ortaya çıkan adanın siluet algısını güçlendirmek adına, küre formlu konser salonlarının odağa alınması bir yandan tutarlı bir tasarım yaklaşım olarak görülebilirken, diğer yandan bu karar Cer Modern Sanatlar Merkezi ve tarihî AKM binasını kendi konsepti dışında tutarak bir içe dönüklük sergilemektedir. Tasarımcılar, yapı yüzeylerinde kaplama malzemesi olarak tercih ettikleri Marmara mermerinin verdiği “gri-beyaz” yansımasını; bulutlu havalarda coğrafyanın ve iklimin bütününü yapı içerisinde deneyimlenebilecek bir siluet haline getirdiğini söylemektedir. Işık geçirgenliği fazla olan cam panellere sahip eğimli çatı-cephe yüzeyleri ise yapı içerisinde kentsel bir açık alan hissiyatı vererek, kullanıcıların zamana ve gökyüzüne hâkim olurken gün ışığı, kar ve yağmur gibi iklimsel durumların da fuaye alanından deneyimlemesini sağlamaktadır (Özgenel, 2023). Bu tasarımı; çıplak beton, cam, doğal taş ve ahşap gibi sürdürülebilir malzeme seçimi kararlarıyla ön plana çıkarken aynı zamanda

işlevselliği ve dışavurumcu formuyla, işlevin yere aidiyet ve kimlik ile bütünleştirildiği özgün bir konsepti temsil etmektedir.

Garanti BBVA Bankası Teknoloji Kampüsü

Bulunduğu kent merkeziyle kurduğu güçlü etkileşim, doğal topoğrafya ile uyumlu ilişki kuran kütle tasarımı ve inovatif teknolojik kullanımlarıyla iklim dostu bir anlayış prensibi benimseyen Garanti BBVA Bankası Teknoloji Kampüsü; efektif mekânsal kurgu ağına sahip ve yerle anlamlı ilişkiler kurabilen özgün bir yapı kompleksidir. İnsan odaklı tasarım yaklaşımıyla şekillendirilen kampüs, kullanıcı deneyimini ön planda tutarak bulunduğu çevreyle güçlü bir bağ kurar. İç mekânda su ve yeşil dokularla sakin bir atmosfer oluştururken, dış dünya ile de anlamlı etkileşimler sağlar (Şekil 5).



Şekil 5. Garanti BBVA Bankası Teknoloji Kampüsü (URL-5)

Kampüsteki vaziyet yerleşiminde, ana konsept kararlarından biri şeffaf kütleden oluşan cam ofisin zeminden koparılıp, alanın bütününün kullanıldığı kesintisiz bir kamusal açık alan oluşturulmasıdır. Yapının zemin kota oturmaması kampüsün çevreyle etkileşim kurmasına olanak sağlarken, dış mekânla olan görsel ilişkinin güçlenmesine de imkân verir. Ana cam bloğun avlu etrafında biçimlenme kararı ve avlular etrafında geniş açıklık geçen köprüler ile yatay sirkülasyonun sağlanması ise kampüs tasarımına özgü diğer detaylardan biridir. Topoğrafyaya oturan cam blok, yüzeylerinin yansıtıcı özelliğiyle; gökyüzü ve çevre dokuyla bütünleşmektedir. Avlu etrafında geniş açıklıklar geçen köprülerin yapı statiğinde kompozit tasarım uygulanmış ve yapıda betonarme sistemin yanı sıra metal konstrüksiyona yer verilmiştir. Yapının hafif kütle etkisi oluşturması için konsollardaki kat plaklarının, çelik kolonlarla çatı kotundaki metal taşıyıcılara asılması, mimari kararın yapım aşamasında da ödün vermeden inşa edilebilmesi durumuna bir örnek teşkil etmektedir. Disiplinlerarası ve bütüncül bir yaklaşımla ele alınan projenin iç mekânlarında; ısı, ses, ışık ve hava kalitesi gibi iklimsel etkenler düşünülerek tasarım yapılması; kullanıcılara, rahat, işlevsel ve esnek mekânlar sağlamaktadır. Yapının ofis bölümünü oluşturan cam blokta; dışta çift, içte ise tek cidarlı cephe tasarımı kullanılmıştır. Yapı cephesine dışardan bakıldığında kesintisiz bir cam yüzey etkisi oluşturan çift cidarlı cephe; iç mekândaki ısı, ses ve ışık konforunu, cam yüzeyler arasındaki güneş kontrolü panelleri ve iklimlendirme menfezleri gibi teknolojik çözümlerle sağlamaktadır. Ofislerin aydınlatma sistemlerinde ise gün ışığına entegre olan tasarımlardan faydalanılarak, çalışma ortamında aydınlık düzeyi sabit tutulmaktadır (Öncel, 2022).

Çevresiyle kurduğu güçlü bağ ile alandaki yapay/doğal topoğrafik kütlelerle uyumlu ilişki sağlayan teknoloji kampüsü; kütle biçimlenmesi, yapı kabuğu ve plan kurgusu kararlarıyla, mekânsal etkiyi fark ettiren, deneyim oluşturan ve merak uyandıran bir tasarım anlayışı sergilemektedir. Bu yaklaşımıyla, yapı aynı zamanda çevresiyle bütünleşen ve kullanıcılara ilham sağlayan bir mekân etkileşimi sağlar.

Gökçeada Lise Kampüsü

Gökçeada içerisinde her detayı incelikle düşünülerek tasarlanmış eğitim yapılarından oluşan Gökçeada Lise Kampüsü; çevreyle uyum içerisinde planlanan ve doğayla iç içe bir öğrenme deneyimi sağlayan bir komplekstir. Okul, öğrencilerin hem akademik hem de sosyal alanda etkin olabilmeleri için açık/kapalı alan tasarımlarının dengeli bir şekilde planlandığı bir eğitim ortamı sunarken aynı zamanda sürdürülebilirlik ilkeleriyle de doğa bilinci oluşturmayı hedeflemektedir (Şekil 6).



Şekil 6. Gökçeada Lise Kampüsü (URL-6)

Kampüsteki kütlelerin alışılageldik eğitim komplekslerinden farklı olarak parçalı bir şekilde alana yayılması; açık, yarı açık ve kapalı (avlu bahçe, atölye, toplantı vb.) mekân parçaları oluşturarak, öğrencilere farklı ortamlarda sosyal etkileşim esnekliği sağlar. Komplekste, avlu etrafında planlanan parçalı kütleler ve kütlelerin geçirgen plan kurgusu, öğrenciler için açık ve kapalı mekânlar arasında uyumlu bir ilişki kurulmasına yardımcı olur. Aynı zamanda, yakın çevreyle de etkileşim sağlayan parçalı yapı, kampüsü; ada sakinlerinin de kullanımına açarak kentsel komşuluğun değerini artıran bir tasarım anlayışına da sahiptir. Kampüste zemin geçişlerinin oluşturduğu sokaklar, meydanlar ve avlulardan oluşan iç kurgunun yarattığı derinlikler, kullanıcılara ada ve doğayla buluşma fırsatı vererek, mekânsal deneyimi zenginleştirirken sosyal etkileşimin ve aidiyet duygusunun artırılmasına da olanak sağlar. Yapının zemin katlarında; sanat, müzik vb. etkinlik mekânlarının tasarlanması da bu sosyal etkileşimi güçlendiren kararlardandır. Eğitim bloklarında derslikler, atölyeler ve koridorların tasarımı, gün ışığından ve doğal havalandırmadan yararlanacak şekilde pasif iklimlendirme kararları doğrultusunda oluşturulmuştur. Ayrıca yapı teraslarında; zemin kattaki avlu kurgusuyla yeniden buluşulması ve koridorlar gibi ortak alanların bilinçli tasarımı, kullanıcılara boşluğun deneyimini yaşatarak, mekânlar arası geçişleri anlamlı kılar. Yapıların cephelerinde kullanılan beyaz renkle birlikte taş ve ahşap kaplamalar, betonarme saçak ve çıkmalarla zenginleştirilen tasarım konsepti modernist tavrın basit ve anlamlı dokunuşlarla

sıradanlığı kıran mimari ifadesini yansıtır (Aslan, 2022). Kentle bütünleşmeyi ve etkileşim sağlamayı hedeflerken aynı zamanda öğrencilere kampüs içerisinde rekreasyon alanları sağlayan kompleks, öğrencileri ve kentlileri bir araya getiren; sosyal, kültürel ve eğitsel faaliyetlerin gerçekleştirilebileceği çok fonksiyonlu bir alan sunmaktadır. Tasarlanan bu konsept, öğrencilere akademik anlamda gelişim fırsatı sağlamanın yanı sıra yere aidiyet ve bağlılık duygusu da kazandırma potansiyeli sayesinde duygusal bir keşif imkânını da mümkün kılmaktadır.

Cunda Despot Evi

Koruma-kullanma odaklı tasarım kararları dikkate alınarak yeniden işlevlendirmeye tâbi tutulan Cunda Despot Evi; simgesel yapı niteliği taşıyan önemli bir kültür varlığıdır. Ayvalık/Cunda adasında yer alan yapı, işlevlendirme/koruma sürecinde; anıtsal özellikleri korunarak, anlamı ve değeri bozulmadan kamuya ve kente kazandırılmıştır (Şekil 7).



Şekil 7. Cunda Despot Evi (URL-7)

Despot evinin bulunduğu bölgede; yapılı çevre ve kıyı çizgisinin değişimi, binanın geri çekilmesine neden olmuş, yapı bir set ile taşıt yolu ve yaya rıhtımından ayrılmıştır. Ana yapının, yeniden işlevlendirilmesi konusunda otel olarak planlanmasına karar verilmiştir. Otelin yan işlevleri olarak planlanan ek alanlar (restoran, hamam, havuz vb.), yapıdan koparılarak bahçede konumlandırılan tek katlı bir yapı şeklinde çözülmüştür. Yapının plan kurgusu yeniden tasarlanırken, eski işlevsel özellikleri korunmuş ve yeniden kullanım senaryolarıyla bütünleştirilmiştir. Mekân örgütlenmesinde temel unsur olarak orta sofanın korunması yoluyla eski özelliği sürdürülmüştür. Sofada yer alan ahşap omurga ve çift koldan oluşan merdiven, özgün detaylarına sadık kalınarak yenilenmiştir. Yapının bodrum katında bulunan ve eskiden su deposu olarak kullanılan tonozlu mekân, su toplanma bölümüne bir jakuzinin yerleştirildiği spa alanına dönüştürülmüştür. Mekân, bodrum katın duvar sağlamlaştırmaları yapıldıktan sonra taş ve tuğla duvar dokusunun eski izlerinin okunabilmesi için sıvasız bırakılmıştır. Yalın bir havuz çözümü ve doğru aydınlatmayla, etkileyici bir mekân algısı oluşturulmuştur. Cephe kararlarında; özgün dış cephe, bodrum ve zemin katlarda sıvasız bırakılmış, yerel sarımsak taşından oluşan taş duvar dokusu sergilenerek tarihsel vurgu ortaya çıkarılmıştır. Yapının anıtsal özelliğinin önemli bir parçası olan orta akstaki sütunlu teraslar ve çıkma ise sıvama tekniği kullanılarak vurgulanmıştır. Bu bağlamda, projenin yeniden işlevlendirme kararlarında; yapının aslına uygun malzeme kullanımına bağlı

kalındığı, yapıdaki detayların sürekliliğinin sağlandığı söylenebilmektedir. Yeniden işlevlendirme sonrası bu kültür varlığının tüm özgün elemanlar ile yapıdan gelen izlerin büyük bir titizlikle muhafaza edilerek fiziksel algısının bütünlüğünün korunduğu görülmektedir (Özkut, 2022). Kültür mirası alanında önemli bir yere sahip olan Cunda Despot Evi; özgün hali ve kimlikli yapısı korunarak, eski ve yeninin profesyonel bir şekilde harmanlandığı bir proje olarak ön plana çıkmaktadır. Alınan yeniden işlevlendirme kararlarında; fiziksel ve kültürel değerler göz önüne alınarak, işlev-mekân ilişkisi ve koruma-kullanma dengeleri sağlanmıştır. İşlevlendirme kararlarında; tarihi yapıyla bağ kurulurken, aynı zamanda yeni işlevlendirilen yapının gereklerine uygun kullanım alanları da oluşturulmuştur.

İSMEP Silivri Ortaokulu

Çevre ve topoğrafyayla uyum içerisinde tasarlanan Silivri Ortaokulu, içerisinde bulunduğu fiziksel dokuyla anlamlı bağlar kurarak nitelikli bir dış mekân kurgusu sunmaktadır. Topoğrafyanın etkin bir biçimde kullanıldığı yapı tasarımı, öğrencilerin sosyal etkileşimlerini destekleyecek açık mekânlar oluştururken, bölgenin kültürel etkileşim alanı olarak kullanılmasına da olanak sağlamaktadır (Şekil 8).



Şekil 8. İSMEP Silivri Ortaokulu (URL-8)

Topoğrafya üzerinden yükseltilerek zeminle ilişkisi koparılan yapının planlama kararları, okulun çocukların yaşamında deneyimledikleri ilk kamusal alan olma düşüncesinden hareketle kurgulanmıştır. Tasarım konsepti, toparlayıcı bir dış mekân etrafında oluşturulmuştur. İçe dönük bir avlu niteliğinde planlanan dış mekân, kente açılarak yapının ana girişini tanımlamakta ve avlunun kentle bütünleşmesini sağlamaktadır. Avlu, kütlesel kırılmalar ve kesitte yer alan parçalanmalar ile alt ölçekte ana mekâna eklemlenen açık alanlar oluşturur. Kademelenmeler, farklı ölçeklerde alt toplanma alanlarını tanımlarken, farklı etkinliklere de olanak tanır. Topoğrafya içerisinde oluşturulan kademelenmeler, kütle kararlarında da devam ettirilerek bölücü ve parçalayıcı yapı etkisinden ayrıştırılmaya çalışılmaktadır. Ayrıca bu tasarım kararı, okulun düşük kotlarda konut bloklarının arkasına saklanmasını, yüksek kotlarda ise teraslanarak kentsel silüet içinde kaybolmasını sağlar. Yapının plan kurgusunda birbirini tekrar ederek çoğaltılmış plan şeması yerine, yer değiştiren merdiven ve galeri boşluklarının yönlendirdiği tasarımlar, zengin bir mekân deneyimi sağlarken, katlar arasında görsel süreklilik de oluşturur. İç mekân tasarımı, ortak mekâna

dönüşen merdiven boşlukları, galeriler ve onları destekleyen ışıklıklar etrafında biçimlenmektedir. Bu bağlamda planlanan geçiş alanları, öğrencilerin birbirleri ile ilişkisini güçlendirebilecek sosyal mekânlara dönüşmektedir. Kullanıcıların yapının inşa sistemini doğrudan gözlemelerini sağlayacak şekilde açıkta bırakılan çıplak beton, tuğla, yapı blok gibi inşa malzemeleri sade bir mimarlık dili tanımlarken, sürdürülebilirlik ilkelerini de desteklemektedir. Yapı; blok tuğla ve ışıklık gibi yapı elemanlarının yanı sıra açık plan konseptleri ve yere kadar uzanan cam cephe kullanımlarıyla da modern mimarlığın izlerini taşımaktadır (Güzer, 2022). Tasarımında modernlik ve yalınlığı bir arada tutan eğitim kompleksi; çevresiyle bütünleşerek bölgenin kimliğine uyum sağlamaktadır. Yapı; malzeme seçimleri, ince detayları ve mekânsal kurguları ile kentin ve topoğrafyanın değerli bir parçası olmaktadır. İç ve dış mekânların esnek ve geçirgen bir anlayışla tasarlandığı okul yapısı, öğrencilerin eğitim hayatlarının yanı sıra kültürel etkileşimde bulunmalarında da etkili olabilmektedir.

DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Güzer'e (2009) göre eleştiri, popüler kültür ortamında çoğu zaman olumsuz vurgu barındıran ve bir değer atfetmeye yönelik bir anlam yapısında kullanılsa da kavramın "nesne ya da olguların var olma biçimlerini anlamaya yönelik çabaları" ve "bu var olma biçimlerine atfedilebilecek değerleri" içeren geniş bir kullanım alanı bulunmaktadır. Topçu'ya (1997) göre eğer "eleştiri" ve "tartışma" kapıları kapatılacak olursa, sonu gelmeden çoğalan kaideler, insanı otomatlaştırarak makinemsi bir varlığa dönüştürür. Ancak insan doğası, bu duruma aykırı olarak, bir modele göre inşa edilen ve kendisine verilen işi tam olarak yapacak olan bir makine değil, kendisini canlı bir varlık hâline getiren içsel güçler doğrultusunda büyüyen ve tüm kabiliyetlerini geliştirebilen bir ağaç gibidir.

Eleştiri, insan doğasında var olan ve eksikliği bireyin hayatında boşluk oluşturabilecek önemli bir unsurdur. İnsanın yaşamında var olması gereken ve onun gelişimi destekleyen bir unsur olarak eleştiri, mimaride de tasarım sürecini ilerleten ve yapıcı değişiklikler sağlayan bir olgu olarak görülmektedir. Mimaride önemli bir süreç olan eleştiri; tasarım aşamasında fikirlerin gelişmesini sağlayarak farklı bakış açılarını doğurmaktadır. Zihinde canlanan biçim ve öngörü olan tasarım, eleştiriler bağlamında sürekli geliştirilerek tasarımcıya farklı açılardan bakma imkânı sağlar. Tüm bu yönleriyle eleştirel süreçlerin mimaride özgün düşünebilme becerisini besleyeceği, kentsel mekânlara kimlik kazandıran tasarımların gerçekleşmesinde etkili olacağı açıktır.

Mimarinin özgün düşünebilme niteliğini besleyen "mimari tasarımda eleştiri" konusunu esas alan makaleler, yapıların tasarım kriterlerini eleştirel bir bakış açısıyla sunmaktadır. Bu çalışmada ele alınan yapıların tasarım kriterleri; estetik ve işlevsel özellikler, sürdürülebilirlik ve yere özgünlük gibi unsurlar üzerinden değerlendirmektedir. Projelerde tartışılan çözümlerin, gelecekteki mimari tasarım yaklaşımlarına ilham kaynağı olabileceği, kimlikli ve özgün kent mekânları oluşturma hedeflerine katkı sağlayacağı öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

Akpınar, İ., & Gürman, A. (2023). İzmir'de yeni bir açılım: Zone Ticaret Merkezi. *Mimarlık Dergisi, 60*(430), 65-69.

Aslan, D. (2022). Rasyonel ile doğal arasında: Gökçeada Lise Kampüsü. *Mimarlık Dergisi, 59*(424), 33-35.

Derin Öncel, A. (2022). Şaşırtıcı Bir "Var-Yer": Garanti BBVA Bankası Teknoloji Kampüsü. *Mimarlık Dergisi, 59*(424), 28-32.

Erdoğdu Erkaslan, Ö. (2023). Tensel ve tinsel mekân arasında: Beylikdüzü Fatma Ana Cemevi ve Kültür Merkezi. *Mimarlık Dergisi, 60*(431), 41-46.

Gerçek Atalay, N., & Uludağ, Z. (2024). Mimarlıkta özgürlük söylemi ve özgürlükçü tasarım deneyimi: Eisenman mimarlığı ve katmanlama yöntemi üzerine bir eleştiri. *Tasarım Kuram*, 20(42), 189-207.

Gür, Ş. Ö. (2009). Mimarlıkta eleştirinin eleştirisi. *Mimarlık Dergisi, 348.*

Güzer, C. A. (2009). Kültürel çatışma alanı olarak mimarlık eleştirisi. *Mimarlık Dergisi. 348*, 32-33.

Güzer, C. A. (2022). Tip projelere alternatif bir yaklaşım modeli: İSMEP ve Silivri Ortaokulu örneği. *Mimarlık Dergisi, 59*(424), 40-43.

Kıraç, A. B. (2023). Hasanpaşa'da öncü koruma mücadelesi: *Müze Gazhane. Mimarlık Dergisi, 60*(430), 56-64.

Kuvancı, C. (2021). Eleştirinin varoluşsal anlamı ve önemi. *Din ve Felsefe Araştırmaları, 4*(8), 189-20.

Özgenel, L. (2023). Katmanlararası müzakere: AKM Cumhurbaşkanlığı Senfoni Orkestrası Konser Salonu. *Mimarlık Dergisi, 60*(429), 48-53.

Özkut, D. (2022). Korumada bir uzlaşı alanı: Cunda Despot Evi. *Mimarlık Dergisi, 59*(424), 36-39.

Sharp, D. (1989). Criticism in architecture. [Paper presentation]. *Regional Seminar of the Aga Khan Award for Architecture,* Lisbon.

Topçu, N. (1997). *Türkiye'nin maarif dâvası*. (E. Erverdi & İ. Kara, Ed.). Dergah Yayınları.

Türk Dil Kurumu. (2005). *Türkçe sözlük*. Türk Dil Kurumu Yayınları.

URL-1. https://www.arkitera.com/proje/beylikduzu-fatma-ana-cemevi-ve-kultur-merkezi/ (Erişim Tarihi: 15.02.2025).

URL-2. https://www.arkitera.com/proje/hasanpasa-gazhanesi-restorasyon-peyzaj-tasarimi-ve-yeniden-islevlendirme-projesi/ (Erişim Tarihi: 15.02.2025).

URL-3. https://www.arkitera.com/proje/zone-ticaret-merkezi/ (Erişim Tarihi: 18.02.2025).

URL-4. https://www.arkitera.com/proje/ataturk-kultur-merkezi-cumhurbaskanligi-senfoni-orkestrasi-konser-salonu-ve-koro-calisma-binalari/ (Erişim Tarihi: 18.02.2025).

URL-5. https://dacistanbul.com/projeler/garanti-bankasi-teknoloji-merkezi/ (Erişim Tarihi: 21.02.2025).

URL-6. https://www.arkitera.com/proje/gokceada-lise-kampusu/ (Erişim Tarihi: 25.02.2025).

URL-7. https://www.arkitera.com/proje/cunda-despot-evi/ (Erişim Tarihi: 25.02.2025).

URL-8. https://www.arkitera.com/proje/silivri-ortaokulu/ (Erişim Tarihi: 25.02.2025).

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

EKOLOJİK KORİDORLAR ve HAYVAN DOSTU MİMARİ TASARIMLAR: DÜNYA ÖRNEKLERİ ÜZERİNDEN KARŞILAŞTIRMA

ECOLOGICAL CORRIDORS and ANIMAL-FRIENDLY ARCHITECTURAL DESIGNS: COMPARASION of WORLD EXAMPLES

Aslı ARSLANTAŞ
Yıldız Teknik Üniversitesi, Bina Araştırma ve Planlama Programı, Mimarlık Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi
Yildiz Technical University, Building Research and Planning Program, Department of Architecture, Master of Science Thesis

Şayeste Tülin GÖRGÜLÜ
Prof. Dr., Yıldız Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Anabilim Dalı
Prof. Dr., Yildiz Technical University, Architecture Fakulty, Department of Architecture
ORCID ID: 0000-0001-7690-9681

ÖZET

Tarih boyunca insan yerleşimleri, doğal yaşam alanlarını şekillendirmiş ve çoğu zaman bölünmelere yol açmıştır. Özellikle Sanayi Devrimi'nden sonra artan antropojenik etkiler birçok türün habitat kaybı yaşamasına ve insan-hayvan arasındaki dengenin bozulmasını hızlandıran bir süreç haline gelmiştir. Bu bağlamda, 20. yüzyıldan itibaren ekolojik geçiş yapıları, yaban hayatı köprüleri ve hayvan dostu mimari tasarımlar, bu bozulan dengeyi yeniden sağlama çabası olarak ortaya çıkmıştır.

Ekolojik koridorlar ve hayvan dostu mimari yapı elemanları habitatların yeniden bağlanmasını ve ekolojik dengenin korunmasını sağlamaya yönelik bir çözüm olarak geliştirilmiştir. Bu tür yapılar, biyolojik çeşitliliği korumasının yanında aynı zamanda, küresel bir farkındalık yaratmak için araç olmaktadır. Bu konu kapsamında, çalışmada, ekolojik koridorlar ve hayvan dostu mimari tasarım kavramının mimarlık üzerindeki rolünü irdelemek hedeflenmiştir. Bu bağlamda, bu kavramın ortaya çıkış ve gelişim süreci arasındaki bağlantı analiz edilerek günümüzdeki etkileri ve uygulamaları üzerinden değerlendirme yapılmıştır.

Çalışmada, ekosistemin sürdürülebilirliğini ve türlerin güvenli bir şekilde geçişini sağlamak amacıyla yapılmış dünya genelinde uygulanan ekolojik koridorlar ve hayvan dostu mimari tasarımlar incelenmiştir. İncelenen örnek projelerin temel tasarım prensipleri ve ekolojik katkıları analiz edilmiştir. Araştırmanın yöntemi karşılaştırmalı analizlere dayanmaktadır. Bununla birlikte, değerlendirme sürecinde, bu yapıların tasarım kriterleri, hedef türleri, kullanılan malzemeler, kullanıcı potansiyelleri, konum seçimleri ve ekosistem üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Dolayısıyla, bu çalışma, insan ve doğa arasındaki dengenin sağlanmasında mimarinin oynadığı kritik rolü vurgulamayı ve bu konuda farkındalık yaratmayı amaçlamaktadır.

Çalışmanın son kısmında ise elde edilen bulgulara yer verilmiştir. İncelenen örneklerin karşılaştırılması tablosu neticesinde, ekolojik yapı elemanları ve hayvan dostu mimari tasarımların, parçalanmış habitatların yeniden bağlanmasında ve türlerin korunmasında etkin bir çözüm olduğu sonucuna varılmıştır. Tarihsel süreç içinde var olan nitekim, zamanla unutulan bu uygulamaların ulusal ve uluslararası düzeyde az sayıda olması dikkat çekmektedir. Sonuç olarak, bu çalışma, doğal yaşam alanlarının korunması ve mimarinin bu süreçteki rolü hakkında farkındalık yaratmayı ve sürdürülebilir tasarımlara yönelik yeni stratejilere katkıda bulunmayı vurgulamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Ekolojik Koridor, Hayvan Dostu Yapı Elemanaları, Habitat Koruması, Ekolojik Farkındalık, Sürdürülebilirlik.

ABSTRACT

Throughout history, human settlements have shaped natural habitats and often led to fragmentation. Especially after the Industrial Revolution, increasing anthropogenic impacts have caused habitat loss for many species and accelerated the disruption of the human-animal balance. In this context, from the 20th century onwards, ecological transition structures, wildlife bridges, and animal-friendly architectural designs have emerged as efforts to restore this disrupted balance.

Ecological corridors and animal-friendly architectural elements have been developed as a solution to reconnect habitats and maintain ecological balance. These structures not only help protect biodiversity but also serve as tools for raising global awareness. Within this scope, this study aims to examine the role of ecological corridors and animal-friendly architectural design in architecture. In this context, the connection between the emergence and development process of this concept is analyzed, and its current impacts and applications are evaluated.

The study examines ecological corridors and animal-friendly architectural designs implemented worldwide to ensure ecosystem sustainability and the safe passage of species. The fundamental design principles and ecological contributions of the examined case studies are analyzed. The research methodology is based on comparative analyses. Furthermore, during the evaluation process, the design criteria, target species, materials used, user potentials, site selections, and impacts on the ecosystem of these structures are assessed. Therefore, this study aims to emphasize the critical role of architecture in maintaining the balance between humans and nature and to raise awareness on this issue.

In the final part of the study, the findings are presented. As a result of the comparative analysis of the examined examples, it has been concluded that ecological architectural elements and animal-friendly designs are effective solutions for reconnecting fragmented habitats and conserving species. However, it is noteworthy that despite their historical

existence, such applications have become rare on national and international levels over time. In conclusion, this study highlights the importance of preserving natural habitats, emphasizes the role of architecture in this process, and aims to contribute to new strategies for sustainable designs.

Keywords: Ecological Corridor, Animal Friendly Building Elements, Habitat Protection, Ecological Awareness, Sustainability.

DOĞAL VE KÜLTÜREL MİRASIN EKOTURİZM FAALİYETLERİ KAPSAMINDA DEĞERLENDİRİLMESİ: DÜZCE KONURALP ÖRNEĞİ

EVALUATION OF NATURAL AND CULTURAL HERITAGE WITHIN THE SCOPE OF ECOTOURISM ACTIVITIES: EXAMPLE OF DÜZCE KONURALP

İremnur AYDIN
Yüksek Lisans Öğrencisi, Düzce Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Disiplinlerarası Ekoturizm Anabilim Dalı
Graduate Student, Düzce University Graduate School of Education, Interdisciplinary Ecotourism Department
ORCID ID: 0009-0004-5585-5097

Pınar GÜLTEKİN
Prof. Dr., Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü
Prof. Dr., Düzce University, Faculty of Forestry Landscape Architecture Department
ORCID ID: 0000-0002-9374-4484

ÖZET

Uluslararası Doğa Koruma Birliği (IUCN)'nin tanımına göre ekoturizm; doğayı ve kültürel kaynakları anlayarak korumayı destekleyen, düşük ziyaretçi etkisi olan ve yerel halka sosyo-ekonomik fayda sağlayan, bozulmamış doğal alanlara çevresel açıdan sorumlu seyahat ve ziyarettir. Ekoturizm tanımından yola çıkılarak, uzun vadede doğal ve kültürel varlıkların korunması için öncelikle turizm potansiyelinin belirlenmesi ve bu potansiyelin doğru kullanılması gerektiği söylenebilir. Literatür incelendiğinde, somut ve soyut kültürel zenginliğin ön plana çıkarılması, turizm türlerine ve aktivitelerine yönelik rota planlaması, yöresel kimliğin geliştirilmesi, girişimcilere destek sağlanması, vb. faaliyetler destinasyonların ekoturizm başarısında önemli unsurlar olarak sıralanabilir.

Bu çalışmanın amacı, Düzce Konuralp bölgesinin doğal ve kültürel elemanlarının envanterinin oluşturulması, alanın ekoturizm potansiyelinin belirlenmesi ve ekoturizm faaliyetleri ile doğal ve kültürel mirasın sürdürülebilirliğine yönelik öneriler geliştirilmesidir. Bu kapsamda Konuralp yöresinde 2024 yılı yaz aylarından 2025 yılı mart ayına kadar toplamda 4 defa farklı mevsimlerde saha incelemesi yapılmış, çalışma alanı doğal ve kültürel elemanları fotoğraflanmıştır. Yerel araştırmalar, Düzce İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü verileri, çalışma alanına ilişkin yapılan tezler, bilimsel araştırmalar vb. literatür çalışmalarından elde edilen bilgi ve verilerden derlenerek, doğal ve kültürel miras envanteri oluşturulmuştur. Elde edilen envanter ve toplanan veriler doğrultusunda Konuralp'te ekoturizm faaliyetlerinin değerlendirilmesine yönelik SWOT analizi uygulanmıştır. Konuralp'in ekoturizmde güçlü ve zayıf yönleri, fırsatlar ve tehditler doğrultusunda sürdürülebilir ekoturizme yönelik öneriler geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kültürel miras, ekoturizm, doğa tabanlı turizm, Konuralp, Sürdürülebilirlik

ABSTRACT

According to the definition of the International Union for Conservation of Nature (IUCN), ecotourism is environmentally responsible travel and visit to pristine natural areas that support conservation by understanding nature and cultural resources, have a low visitor impact and provide socio-economic benefits to local people. Based on the definition of ecotourism, it can be said that in order to protect natural and cultural assets in the long term, it is necessary to determine the tourism potential first and use this potential correctly. When the literature is examined, highlighting the concrete and abstract cultural richness, planning routes for tourism types and activities, developing local identity, providing support to entrepreneurs, activities etc. can be listed as important elements in the ecotourism success of destinations.

The aim of this study is to create a natural and cultural inventory elements of Düzce Konuralp region, determine the ecotourism potential of the area and develop recommendations for the sustainability of ecotourism activities and natural and cultural heritage. In this context, field surveys were carried out in Konuralp region from summer months of 2024 to March of 2025 a total of 4 times in different seasons and the natural and cultural elements of the study area were photographed. Natural and cultural heritage inventory has been created by compiling the information and data obtained from local research, data of the Provincial Directorate of Culture and Tourism of Düzce, theses on the field of study, scientific research, literature studies etc. SWOT analysis was applied for the evaluation of ecotourism activities in Konuralp in accordance with the inventory obtained and the collected data. Recommendations for sustainable ecotourism have been developed in line with Konuralp's strengths and weaknesses in ecotourism, opportunities and threats.

Keywords: Cultural heritage, ecotourism, nature-based tourism, Konuralp, Sustainability

GİRİŞ

Turizm, sürekli olarak değişen çeşitlenen ve yenilenen dinamik bir olgudur. Turizm alt yapısında önemli unsurlar olan hizmet sağlayıcıları ve tüketiciler de kendilerini geliştirmektedir. Küresel ölçekte yayılan kitle turizmi sürdürülebilirlik kavramının gündeme gelmesi ve alternatif turizm türlerinin ortaya çıkması bu süreçteki önemli dönüşümleri işaret etmektedir (Kilipiris & Zardava, 2012). Son yıllarda turistlerin kitleler halinde yapılan tatil tercihlerini bir yana bırakarak daha sakin ve doğayla iç içe, bireysel bir şekilde tatil yapma arzuları ile ekoturizm kavramı öne çıkmıştır (Dağlı, 2019).

Ekoturizm, insanların doğaya olan ilgi ve sevgisini yansıtan bir turizm türüdür. Bu turizm çeşidi, ziyaretçilerin zihinsel ve fiziksel olarak yenilenmesini hedeflerken, aynı zamanda sosyal, kültürel, fiziksel, ruhsal ve ekonomik gereksinimlerini karşılayacak olanaklar sunar. İnsanları doğayla daha yakın bir ilişki kurmaya teşvik eder ve çevre koruma ile sürdürülebilirlik konularında farkındalık oluşturur. Bu turizm alanı, doğal güzellikleri

keşfetmek, vahşi yaşamı gözlemlemek, açık hava etkinliklerine katılmak ve çeşitli ekosistemleri keşfetmek gibi çeşitli aktiviteleri kapsar. Bunlar gibi pek çok doğa temelli turizm seçeneğinin ziyaretçilere sunulduğu destinasyonlar ve etkinlikler Türkiye'de mevcuttur (Korkmaz, 2001).

Çalışma kapsamında değinilen doğal ve kültürel miras öğelerini kapsayan miras turizmi destinasyonları tipik olarak kültürel mirasın birincil kaynak olarak hizmet verdiği, turistlere heterojen kültürel deneyimler sunan turizm alanlarıdır (Su and Wall 2012; Wang et al. 2024). Kültürel miras hem somut hem de soyuttur ve toplum içinde sosyal, kültürel ve ekonomik boyutlarda değerler atanır (Hutchings & Cassar, 2006; Hall et al.2015).

Çalışma alanı olarak belirlenen Düzce ili, Karadeniz'in batısında bulunmakta olup, akarsuları, yaylaları, gölleri, şelaleleri, su kaynakları ve plajları ile turistler tarafından tercih edilen bir destinasyondur. Aynı zamanda konumu, kültürel ve ekonomik anlamda da etkileşimi arttırmaktadır (Düzce İli Master Planı, 2002). Araştırma olarak Düzce Konuralp bölgesinin seçilme nedenleri; Prusias ad Hypium Antik Kenti'nin Konuralp'te bulunması, sahip olduğu doğal ve kültürel çeşitlilik, tarihi açıdan bölgenin sahip olduğu somut kalıntılar (kırk basamaklar, müze, kemerler vs.), iki metropol şehre (İstanbul ve Ankara) günübirlik mesafede bulunması ve özellikle kentli bireyler için alternatif bir turizm rotası oluşturması, çalışma alanına dair daha önce yapılmış bir ekoturizm rotasının bulunmaması ve özellikle pandemi sonrası insanların ekoturizme yönelmesi olarak sıralanabilir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmada, Düzce ili Konuralp bölgesinin ekoturizm potansiyelinin belirlenmesi, doğal ve kültürel elemanlarının envanterinin oluşturulması ve ekoturizm faaliyetleri ile doğal ve kültürel mirasın sürdürülebilirliğine yönelik öneriler geliştirilmesi amacıyla öncelikle literatür taraması yapılmıştır. Çalışma alanında, arazi çalışmaları ve görsel materyal örneklerinin toplanması gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler ışığında SWOT analizi uygulanmıştır.

Çalışma alanı olarak seçilen Konuralp, Düzce kent merkezine yaklaşık 8 km uzaklıkta yer almakta olup, hem doğal peyzaj öğeleri hem de zengin kültürel birikimi ile öne çıkmaktadır. Bölgede yer alan verimli tarım alanları, doğal orman dokusu ve yerel flora-fauna çeşitliliği, doğa yürüyüşleri, botanik gözlemler ve kuş gözlemciliği gibi ekoturizm etkinlikleri için uygun ortam sunmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma Alanı Konumu (Google Earth, 2025).

Kültürel miras açısından Konuralp, antik Prusias ad Hypium kenti kalıntılarına ev sahipliği yapmaktadır. Roma dönemine ait tiyatro yapısı, su kemerleri, sur kalıntıları ve mozaikler, bölgenin tarihsel zenginliğini ortaya koymaktadır.

Konuralp'in tarihsel ve turizm açısından önemiyle ilgili akademik çalışmalar, raporlar, master planları ve diğer yazılı kaynaklar incelenerek literatür taraması yapılmıştır. Bu süreçte, bölgeye ilişkin daha önce yapılan bilimsel çalışmalar değerlendirilmiş ve mevcut bilgiler sentezlenerek araştırmaya entegre edilmiştir. Literatür taraması, bölgenin tarihsel gelişimi ve turizm açısından önemi konusunda daha derinlemesine bir perspektif sunmaktadır. Yerel araştırmalar, Düzce İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü verileri, çalışma alanına ilişkin yapılan tezler, bilimsel araştırmalar vb. literatür çalışmalarından elde edilen bilgi ve verilerden derlenerek, Konuralp doğal ve kültürel miras envanteri oluşturulmuştur.

Konuya ve çalışma alanına yönelik yapılan literatür taramasının ardından Konuralp'in fiziksel ve coğrafi özelliklerini daha iyi anlayabilmek için arazi çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu süreçte, Konuralp'teki çeşitli arkeolojik ve tarihi yapılar yerinde incelenmiş, alanın fiziksel durumu, mimari özellikleri, doğal peyzaj elemanları ve mevcut altyapısı detaylı bir şekilde değerlendirilmiştir. Arazi çalışması sonucunda, bölgenin korunması gereken kritik noktaları belirlenmiş ve potansiyel turistik geliştirme alanları tespit edilmiştir.

Arazi çalışmasını desteklemek ve bölgenin mevcut durumunu belgelemek, görsel materyal örnekleri almak amacıyla fotoğraf çekimi yapılmıştır. Elde edilen görseller, bölgenin doğal ve kültürel mirasının görsel olarak ortaya konmasına katkı sağlamaktadır. Bu kapsamda Konuralp yöresinde 2024 yılı yaz aylarından 2025 yılı mart ayına kadar toplamda 4 defa farklı mevsimlerde saha incelemesi yapılmış, çalışma alanı doğal ve kültürel elemanları fotoğraflanmıştır.

Elde edilen envanter ve toplanan veriler doğrultusunda Konuralp'te ekoturizm faaliyetlerinin değerlendirilmesine yönelik SWOT analizi uygulanmıştır. Konuralp'in ekoturizm sektöründe güçlü ve zayıf yönleri, fırsatlar ve tehditler doğrultusunda sürdürülebilir ekoturizme yönelik öneriler geliştirilmiştir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışma alanına yönelik literatür taraması yapılarak; Konuralp Yöresi'ne ilişkin konum, iklim, bitki örtüsü, fauna, jeolojik yapı, toprak, jeomorfolojik yapı, tarih, demografik özellikler, ulaşım, gastronomi, tarım, mimari ve sosyo-ekonomik yapıya ilişkin bilgiler edinilmiştir. Bu bilgiler ile bütünlük sağlaması için arazi çalışması ve fotoğraf çekimleri yapılarak bölgenin ekoturizm potansiyeli ortaya konulmuş, doğal ve kültürel miras envanteri oluşturulmuştur.

Konuralp Doğal Miras Envanteri

Ormanlık Alanlar: Meşe (Quercus spp.), gürgen (Carpinus betulus), kestane (Castanea sativa), kayın (Fagus orientalis), ıhlamur (Tilia argentea), akçaağaç (Acer spp.) gibi türler yaygındır.

Tarım Alanları ve Geleneksel Bahçecilik: Yerel halkın geleneksel olarak yetiştirdiği mısır, fındık ve sebze bahçeleri kırsal peyzajın karakteristik öğeleridir.

Kuş Türleri: Alanda göçmen kuşlar için önemli geçiş noktaları yer almakta olup kuş gözlemciliği açısından elverişlidir (leylek, yalıçapkını, atmaca, ötücü kuşlar).

Memeliler: Yaban domuzu, tilki, sansar ve çeşitli kemirgen türleri yaygındır.

Amfibiler ve Sürüngenler: Nemli ormanlık alanlar, kurbağa, semender ve çeşitli kertenkele türlerine habitat sunmaktadır.

Melen Çayı ve bazı küçük dere kolları, bölgenin su varlıklarını oluşturur.

Panoramik Manzaralar: Konuralp çevresindeki tepelerden Düzce Ovası ve Karadeniz'e uzanan manzaralar görülmektedir.

Doğa Yürüyüş Rotaları: Tarla yolları, orman içi patikalar ve köy bağlantı yolları alternatif ekoturizm rotaları için uygundur. Trekking aktiviteleriyle hem turistlerin hem de yöre halkının ilgisini çekmektedir. Konuralp Bölgesi'nde yeşil alanların yanı sıra tarihi çevreyle entegre olabilecek trekking yollarının, bölgenin tarihi ve kültürel değerlerine önemli bir katkı sağlama potansiyeli taşıdığını ifade etmektedir (Özkaraca ve Halaç, 2021).



Şekil 2. Trekking Parkuru (Yazarın kendi arşivi, 2025)

Konuralp Kültürel Miras Envanteri

Konuralp, antik çağlardan günümüze kadar uzanan yerleşim izlerine sahip bir alandır. Eski adıyla Prusias ad Hypium, Düzce'nin en önemli arkeolojik alanlarından biridir. Prusias ad Hypium Antik Çağ'da Bitinya bölgesinde kurulan önemli bir kenttir (Sezer, 2015). Kent, günümüzde adı Melen olan "Hypios" nehri kenarına kurulan "Prusias ad Hypios" olarak adını almıştır. Hem bir yamaç hem de bir aşağı şehir olarak iki ana kısımdan meydana gelmektedir. İlk yerleşim, savunma yönünden avantajlı bir konumda yer alan Mons Hypium tepesinde inşa edilmiştir ve buradan ovaya hakim bir manzara sunulmuştur. Kentin gelişim süreci, güney yönünde ovaya doğru ilerlemiş ve bu süreçte eski yerleşim alanları, modern yapıların altında kalmıştır (Özlü, 2009).



Şekil 3. Prusias ad Hypium (Yazarın kendi arşivi, 2025)

Antik Tiyatro: Roma dönemine ait, Karadeniz Bölgesi'nin en iyi korunmuş antik tiyatrolarındandır. Yaklaşık 3.000 kişilik kapasiteye sahip olup kazı çalışmaları devam etmektedir. Antik tiyatro, Prusias ad Hypium'un en yüksek noktasında, şehre hâkim bir konumda inşa edilmiştir. Yerel halk arasında Prusias'da üç kapı bulunduğu rivayet edilmektedir: Aslanlı Kapı, Yılanlı Kapı ve Selamet Kapısı. Aslanlı Kapı'nın Kırk Basamaklar'da yer aldığı, amfi tiyatroda çeşitli gösterilerin düzenlendiği anlatılmaktadır. Kırk Basamakların altından su aktığı söylenen tünellerin bulunduğu da aktarılmaktadır. Kırk Basamakların altındaki tünellerde tutulan esirlerin, aslanlara atıldığına dair efsaneler yaygındır; buna göre, esirler bir kapıdan geçerek ya özgürlüklerine kavuşmakta ya da seçecekleri kapıya göre aslanlara ya da yılanlara yemleri olmaktadır (Pınarcık ve Berkant 2024).



Şekil.4. Antik Tiyatro/Kırk Basamaklar (Yazarın kendi arşivi, 2025)

Su Kemerleri (Aqueduct): Antik kente su taşıyan Roma dönemi kemerleri hâlâ ayaktadır.

Sur Kalıntıları: Kentin çevresini kuşatan Roma-Bizans dönemi surlarının kalıntıları yer almaktadır. Antik Kent (Prusias ad Hypium) bünyesinden ele alınan ve modern Konuralp'in merkezinde yer alan "Atlı Kapı," antik dönemde sur kapısı olarak kullanılmıştır ve kireçtaşından yapılmış bir lentoya sahiptir. Bu lentoda, dikkat çekici bir at kabartması ile antik Yunanca bir yazıt yer almaktadır (Coşkunçay, 2014). Prusias ad Hypium Antik Kenti'nin ana giriş kapısı ve bu yapının devamı niteliğindeki surlar, 1. grup anıt eser olarak değerlendirilmektedir (Düzce İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü).



Şekil 5. Atlı Kapı (Yazarın kendi arşivi, 2025)

Nekropol Alanları: Kentin kuzeydoğusunda yer alan mezarlık alanları arkeolojik açıdan önemlidir.

Konuralp Müze Binası: Arkeolojik buluntuların sergilendiği, Roma dönemi eserlerine ev sahipliği yapan yerel müzedir. Hem Düzce hem de Konuralp bölgesinin tarihi ve kültürel değeri için önemli bir unsur olan Konuralp Müzesi 18 Kasım 1994 tarihinde açılmıştır. Roma, Bizans ve Osmanlı dönemlerine ait zengin eser koleksiyonu ile halka 30 yıldır hizmet vermektedir. Müzede üç teşhir salonu, bir laboratuvar, iki depo, bir konferans salonu, idari kısım ve hizmet odası mevcuttur.



Şekil 6. Konuralp Müzesi (Yazarın kendi arşivi, 2025)

Osmanlı Dönemi Yapıları: Bazı mahallelerde geleneksel Osmanlı sivil mimarisi örnekleri (ahşap evler, çeşmeler) korunmuştur.

Cami ve Türbeler: Konuralp Gazi adına atfedilen türbe ve çevresindeki yapılar dini/kültürel miras kapsamında değerlidir.

Yerel Festivaller: Konuralp Festivali, Düzce Ot Festivali, Film Festivali gibi yerel halkı bir araya getiren kültürel etkinlikler mevcuttur.

Sözlü Kültür ve Anlatılar: Konuralp Gazi efsaneleri, bölgedeki antik kalıntılara dair halk arasında anlatılan hikâyeler.

El Sanatları ve Zanaatkârlık: Geleneksel fındık işçiliği, dokumacılık, sepet örücülüğü gibi kültürel pratikler yaşatılmaktadır.

Yerel Mutfağın Ögeleri: Kara lahana, mısır çorbası, fındıklı tatlılar, yöreye özgü yemekler hem kültürel hem de turistik potansiyele sahiptir.

SWOT Analizi

Elde edilen envanter ve toplanan veriler doğrultusunda Konuralp'te ekoturizm faaliyetlerinin değerlendirilmesine yönelik SWOT analizi uygulanmıştır. Konuralp'in ekoturizm sektöründe güçlü ve zayıf yönleri, fırsatlar ve tehditler Çizelge 1'de belirtilmektedir.

Çizelge 1. Konuralp Ekoturizm Olanaklarının Değerlendirilmesine Yönelik SWOT Analizi

Güçlü Yönler	**Zayıf Yönler**
• Zengin doğal kaynaklar (orman, akarsu, biyolojik çeşitlilik) • Antik Prusias ad Hypium gibi önemli arkeolojik miras • Tarım kültürü ve kırsal yaşam deneyim potansiyeli • Konuralp pirinci gibi coğrafi işaretli ürünler • Düzce şehir merkezine ve TEM otoyoluna yakınlık • Kültürel etkinlikler (otfestivali, geleneksel yemekler vb.) • Metropollere günübirlik mesafede bulunan konumu • Düzce Üniversitesi'nin varlığı	• Tanıtım ve bilinirliğin düşük olması • Altyapı eksiklikleri (yürüyüş yolları, tabelalar, bilgilendirme panoları) • Ekoturizm konusunda yerel halkın bilgi ve eğitim düzeyinin sınırlı olması • Konaklama olanaklarının yetersizliği • Yerel yönetimlerde ekoturizme dair stratejik plan eksikliği
Fırsatlar	**Tehditler**
• Sürdürülebilir turizme yönelik ulusal ve uluslararası fon olanakları • Ekoturizmin artan küresel ve yerel ilgisi • Üniversiteler, STK'lar ve kamu kurumları ile iş birliği potansiyeli • Doğa temelli eğitim, kırsal kalkınma ve kadın kooperatifleriyle entegrasyon • Yerel ürünlerin markalaşması ve gastronomi turizmiyle çeşitlendirme olanağı • Ekoturizm konusunda artan bilimsel çalışmalar	• Plansız yapılaşma ve kentsel yayılma riski • Definecilik ve arkeolojik alanlara yönelik kaçak kazı riski • Doğal kaynakların aşırı ve bilinçsiz kullanımı • Kültürel mirasın ticarileşme nedeniyle özgünlüğünü kaybetme riski

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, Düzce Konuralp bölgesinin ekoturizm potansiyelini belirleyerek, doğal ve kültürel mirasın sürdürülebilirliğine yönelik öneriler geliştirmeyi amaçlamıştır. Prusias ad Hypium kenti, Roma köprüsü, Antik Tiyatro, Atlı Kapı ve Konuralp Müzesi gibi tarihsel yapılar, alanın önemli bir kültürel miras merkezi olmasını sağlamaktadır. Bu yapılar, ekoturizmin kültürel yapısını destekleyen unsurlar arasında yer almakta ve bölgenin turistik çekiciliğini artırmaktadır.

Bununla birlikte, Konuralp ve yakın çevresinin sahip olduğu doğal unsurlar ekoturizm potansiyelinin özünü oluşturmaktadır. Batı Karadeniz'in dağ, ova, orman, sulak alan ve tarım ekosistemlerini içermekte olup trekking, doğa yürüyüşleri, kampçılık, karavan, safari ve fotoğrafçılık gibi rekreatif etkinlikler için uygun alanlar sunmaktadır. Ekoturizmin sürdürülebilirliği açısından, bölgeye olan ziyaretçi akışının düzenlenmesi ve doğal kaynakların korunmasını sağlayacak politikaların geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu kapsamda Konuralp'te yer alan Düzce Üniversitesi bölgenin ekoturizm çalışmalarına öncülük etmektedir. Düzce Üniversitesi Ekoturizm tezli yüksek lisans programının kurulması ve yörenin ekoturizm potansiyeline yöneli çalışmaların artıyor olması, Düzce Üniversitesi'nin çevre ve sağlık alanında ihtisaslaşma üniversitesi olması, Düzce Üniversitesi Sürdürülebilirlik ve iklim Değişikliği koordinatörlüğü'nün SDG 11 sürdürülebilir şehirler ve toplumlar başlığı altında Konuralp bölgesinin önemine dikkat çekmesi, Süs ve Tıbbi Bitkiler Botanik Bahçesi'nde "Bağ bahçe çiçek gezileri" başlığı altında Konuralp merkezli keşif gezilerinin düzenlenmesi son yıllarda bu konuda yapılan önemli çalışmalardır.

SWOT Analizi ile yapılan değerlendirme sonuçlarına göre, Konuralp'in önemli güçlü yönlerinden biri, Ankara ve İstanbul gibi iki metropol şehre yakın olmasıdır. Konuralp'in sahip olduğu konum, ekoturizm hareketliliğini arttırabilecek bir unsur olarak değerlendirilmiştir. Yapılan çalışmalar ekoturizm faaliyetlerine katılan profilin ağırlıklı olarak metropollerde yaşayan bireyler olduğuna işaret etmektedir. Ancak, tanıtım eksikliği ve turizm altyapısındaki yetersizlikler (yönlendirme tabelaları, bilgi panoları, ekoturizm rehberliği vb.) bölgenin sürdürülebilir ekoturizm hedeflerine ulaşmasını kısıtlayan faktörler olarak tespit edilmiştir.. Bir diğer önemli husus ise Konuralp yerel halkının ekoturizmin gelir getirici özellikleri ve yaşam kalitelerine sağlayabileceği katkı konusunda yeterli düzeyde bilgilendirilmeleri ve yerel halkın turizm faaliyetlerine entegrasyonunun sağlanmasıdır.

Konuralp'in Düzce ili kent merkezine yakınlığı nedeniyle yapılaşma baskısının artması ekoturizm faaliyetlerine yönelik tehditlerin başında gelmektedir. Son yıllarda çok katlı apartman ve villa siteleri şeklinde konutların artışı kentsel yayılım sorununu beraberinde getirmektedir. Definecilik amaçlı bilinçsiz ve kontrolsüz kazılar, tarımsal faaliyetlerde kimyasal kullanımı, yerel halkta ve ziyaretçilerde hem doğal hem de kültürel mirasa yönelik koruma bilincinin yeterli düzeyde olmaması bölgede ekoturizmin geleceği açısından risk oluşturmaktadır.

Konuralp bölgesi için önerilen ekoturizm rotası, hem doğal güzellikleri hem de kültürel alanları kapsayacak şekilde planlanmalıdır. Öneri ekoturizm rotası başlangıç noktası Konuralp Antik Tiyatrosu olarak önerilmektedir. Tarihsel tanıtım ve arkeolojik anlatımlar ile rotaya başlanması, orman içi yürüyüş trekking etkinlikleri, Düzce Üniversitesi Botanik Bahçesi flora-fauna tanıtımı, yerel üretim atölyeleri, geleneksel yemek sunumları, kuş gözlem alanları, manzara seyir terasları rota üzerinde olabilecek önemli unsurlar olarak önerilmektedir. Rotanın sona erdiği nokta olarak ise Konuralp yerel ürün pazarı, ekolojik ve el emeği ürünlerin satışı yapılabilecek bir alan tasarımına ihtiyaç duyulmaktadır.

Rotanın başlangıç noktası olarak önerilen Prusias Ad Hypium Arkeolojik Sit alanı statüsünün güçlendirilmesi, koruma duvarları yapılması ve rehberli turlar düzenlenmesi önem taşımaktadır. Konuralp yakın çevresinde bulunan Orman içi alanlarda kontrollü yürüyüş rotaları oluşturulmasına, kadın girişimi destek programlarının sayısının arttırılmasına, Konuralp bölgesinde yer alan yerel mimari örnekleri için tescil çalışmalarının tamamlanmasına ve ulusal/uluslararası kaynaklı restorasyon fonlarına ihtiyaç olduğu arazi çalışamalrında tespit edilmiştir.

Konuralp bölgesi, sahip olduğu doğal ve kültürel kaynak değerleri ile ekoturizm açısından önemli bir potansiyele sahiptir. Ancak bu potansiyelin sürdürülebilir biçimde değerlendirilmesi için planlı, katılımcı ve yerel halkı odağa alan bir planlama yaklaşımına gereksinim duyulmaktadır. Doğal mirasın korunması, kültürel değerlerin tanıtılması ve bölgesel kalkınmanın desteklenmesi açısından Konuralp, örnek bir ekoturizm destinasyonu olarak geliştirilmelidir. Bu doğrultuda yapılacak ileri düzey çalışmalar, doğal ve kültürel değerlerin dijital haritalama ile kayıt altına alınması, koruma alanları ve tehdit zonları haritalarının oluşturulması, öğrenciler, turistler ve yerel halk için miras bilinci atölyeleri düzenlenmesi ekoturizmin hem çevresel hem de ekonomik açıdan bölgeye sağlayacağı faydaların arttırılmasında önemli bir rol oynayacaktır.

KAYNAKLAR

Dağlı, Z. (2019). Nature Tourism and Mobile Applications: Düzce Province Example. Seyahat ve otel işletmeciliği dergisi, 16(3), 553-566.

Düzce İli Doğa Turizm master Planı, 2013. https://docplayer.biz.tr/4988782-duzce-ili-doga-turizmi-master-plani-2013-2023.html Erişim Tarihi 04.04.2025

Düzce İl Kültür Turizm Müdürlüğü 2025. https://duzce.ktb.gov.tr/ Erişim Tarihi 06.04.2025

Düzce Tarım Master Planı 2002 https://duzce.tarimorman.gov.tr/Belgeler/PLANVERAPOR/duzce%20Tar%C4%B1m%20Master%20Plan%C4%B1.pdf

Google Earth 2025 https://earth.google.com/web/search/konuralp/@41.01834273,29.51105934,581.79661185a,718755.17730989d,30.0002229y,359.99999999h,0t,0r/data=CiwiJgokCTMFhZk2d

kRAEdWq3qfHc0RAGdps_c8ALT9AIU8MI-JHHj9AQgIIAToDCgEwQgIIAEoICLD26LMBEAA Erişim Tarihi 06.04.2025

Hall, C. M., Baird, T., James, M., & Ram, Y. (2015). Climate change and cultural heritage: conservation and heritage tourism in the Anthropocene. Journal of Heritage Tourism, 11(1), 10–24. https://doi.org/10.1080/1743873X.2015.1082573

Hutchings, J., & Cassar, J. (2006). A soft system framework for the conservation management ofmaterial cultural heritage. Systemic Practice and Action Research, 19, 201–216

Kilipiris, F., & Zardava, S. (2012). Developing sustainable tourism in a changing environment: issues for the tourism enterprises (travel agencies and hospitality enterprises). Procedia-Social and Behavioral Sciences, 44, 44-52.

Korkmaz, M. (2001). Orman kaynaklarında doğa turizmi ve av turizmi etkinliklerinin ekonomik çözümlemeleri. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Okur Çoşkunçay, E. (2014). Konuralp: A Town Between Antiquity and Today (Türkiye).

Özlü, Y. (2009). Batı Karadeniz'de Antik Bir Osmanlı Kenti: Prusias Ad Hypium, Üskübü (Konuralp). Istanbul: Italik Yayınları.

Özkaraca, N., & Halaç, H. H. (2021). Tarihi Çevrede Boşluklar Üzerine Tipomorfolojik Bir Okuma: Konuralp Kentsel Sit Alanı Örneği. Ege Coğrafya Dergisi, 30(2), 337-358. https://doi.org/10.51800/ecd.978806

Pınarcik, P., & Berkant, E. B. (2024). Bir Şehrin Hafızasını Aralamak: Prusias Ad Hypium (Konuralp) Antik Kenti. İDEALKENT, 16(44), 906-934. https://doi.org/10.31198/idealkent.1384551

Sezer, S. S. (2015). The Orpheus Mosaic of Prusias ad Hypium. Journal of Mosaic Research(8), 123-140. https://doi.org/10.26658/jmr.306318

Su, M. M., & Wall, G. (2012). Global–local relationships and governance issues at the Great Wall World Heritage Site, China. Journal of Sustainable Tourism, 20(8), 1067–1086. https://doi.org/10.1080/09669582.2012.671330

Umar, B., 2004. Bithynia; Bir Tarihsel Coğrafya Araştırması ve Gezi Rehberi, İnkılap Kitabevi, İstanbul.

Wang, M. Y., Li, Y. Q., Ruan, W. Q., Zhang, S. N., & Li, R. (2024). Influencing factors and formation process of cultural inheritance-based innovation at heritage tourism destinations. Tourism Management, 100, 104799.

DEVELOPMENT OF A NOVEL LOW-COST ADSORBENT CHITOSAN@EDTA@CELLULOSE COMPOSITE TO EFFECTIVELY REMOVE METHYL ORANGE DYE FROM WASTEWATER: EXPERIMENTAL AND THEORETICAL INVESTIGATION

Soukaina El Bourachdi
Laboratory of Engineering, Electrochemistry, Modelling and Environment, Faculty of Sciences Dhar El Mehraz, Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Fez, Morocco

Amal Lahkimi
Laboratory of Engineering, Electrochemistry, Modelling and Environment, Faculty of Sciences Dhar El Mehraz, Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Fez, Morocco

ABSTRACT

Methyl Orange, a toxic and persistent azo dye, poses significant environmental challenges in aquatic ecosystems. This study investigates the efficiency of a novel Chitosan@EDTA@Cellulose composite, synthesized by linking shrimp-derived chitosan (Tan et al. 2020) and cactus-derived (Contreras-Padilla et al. 2015)cellulose using EDTA as a linking agent(Jomova et al. 2024). Comprehensive characterization techniques, including Fourier-transform infrared spectroscopy, scanning electron microscopy, X-ray diffraction, and Brunauer-Emmett-Teller surface area analysis, were employed. Under optimal conditions (pH 5, 50 mg/L dye concentration, 55 min, 0.1 g adsorbent), the composite achieved a maximum adsorption capacity of 55.87 mg/g, significantly outperforming chitosan (7.29 mg/g) and cellulose (5.69 mg/g). Adsorption followed the pseudo-second-order kinetic model and the Langmuir isotherm model, with thermodynamic analysis confirming a spontaneous and endothermic process. Competitive adsorption tests demonstrated more than 90% removal efficiency despite the presence of interfering ions, attributed to the chelating properties of EDTA and the synergistic effect of the composite structure. Reusability tests showed a slight efficiency decline from 97.8% to 81.86% after four cycles. Box-Behnken Design optimization identified adsorbent mass, pH, and dye concentration as key factors in removal efficiency. Density functional theory analysis clarified the functional group interactions driving adsorption. These findings underscore the composite's potential as an effective and eco-friendly adsorbent for Methyl Orange removal.

Keywords: Adsorption, Box-Behnken Design, Cellulose, Chitosan, Density Functional Theory, Response Surface Methodology.

UTILIZATION OF WASTE PLASTIC AS A COAGULANT/FLOCCULANT IN WASTEWATER TREATMENT

MUHAMMAD SHUAIBU MAIWADA
Umaru Musa Yaradua University, Katsina Faculty of Natural and Applied Science Department of Pure and Industrial Chemistry

USMAN ABDULMALIK
Umaru Musa Yaradua University, Katsina Faculty of Natural and Applied Science Department of Pure and Industrial Chemistry

ABSTRACT

This study investigates the potential application of waste plastic as a coagulant and flocculant in wastewater treatment, particularly for the removal of heavy metals. The research aims to assess the feasibility, effectiveness, and environmental implications of repurposing waste plastic as a sustainable treatment alternative. The methodology involves laboratory experiments where waste plastic samples were processed, standardized, and applied to synthetic wastewater containing lead (Pb^{2+}), chromium (Cr^{3+}), and copper (Cu^{2+}) at varying concentrations. The experimental setup included the preparation of stock solutions, determination of optimal dosage, and measurement of heavy metal removal efficiency using Atomic Absorption Spectroscopy (AAS). The findings indicate that waste plastic exhibits significant potential in heavy metal removal, with degradation efficiencies reaching up to 73%. Comparative analysis between different plastic samples revealed slight variations in performance, emphasizing the need for further optimization. Statistical analysis confirmed that factors such as plastic dosage, metal ion concentration, and pH levels play crucial roles in coagulation and flocculation efficiency. The study underscores the environmental benefits of utilizing waste materials for wastewater treatment, aligning with principles of circular economy and resource conservation. Further research is recommended to explore the underlying mechanisms, optimize treatment conditions, and assess long-term stability and scalability. The findings contribute to the development of cost-effective and sustainable wastewater treatment solutions, offering an innovative approach to addressing both water pollution and plastic waste management challenges.

Keywords: Waste plastic, wastewater treatment, coagulation, flocculation, heavy metal removal, sustainability, circular economy, environmental remediation, plastic repurposing, water pollution control, atomic absorption spectroscopy (AAS), polymer-based treatment, cost-effective treatment.

SYNTHESIS AND EFFECT OF NEW DECAVANADATE COMPOUND ON GROWTH AND VIABILITY OF GRAM-NEGATIVE BACTERIA

Rawia Nasri
University of Tunis El Manar, Faculty of Sciences of Tunis, Laboratory of Materials, Crystal Chemistry and Applied Termodynamics, 2092 El Manar II, Tunis, Tunisia

Regaya Ksiksi
University of Tunis El Manar, Faculty of Sciences of Tunis, Laboratory of Materials, Crystal Chemistry and Applied Termodynamics, 2092 El Manar II, Tunis, Tunisia
University of Carthage, High Institute of Preparatory Studies in Biology and Geology (ISEP-BG) of Soukra, Soukra, Tunisia

Salma Daoud
Laboratory of biomolecules, Venom and Theranostic Applications -Pasteur institute of Tunis -Tunis El Manar University.

Mohamed Faouzi Zid
University of Tunis El Manar, Faculty of Sciences of Tunis, Laboratory of Materials, Crystal Chemistry and Applied Termodynamics, 2092 El Manar II, Tunis, Tunisia

ABSTRACT

A new decavanadate was synthesized by slow evaporation at room temperature. The molecular structure was investigated by single-crystal X-ray diffraction. Decavanadate compound is formed by the decavanadate anion $V_{10}O_{28}^{6-}$, organic cations and water molecules. The decavanadate anion is formed by ten VO_6 octahedra interconnected by edge sharing. The crystal structure of the title compound is stabilized by hydrogen bonds and van der Waals interactions. The cohesion of the structure is ensured by O-H. . .O and N-H. . .O hydrogen bonds. The compound was tested against Gram-negative bacteria Pseudomonas aeruginosa. The compound was tested and added to SolB and then incubated at 0, 1, 2, 3 and 24H and spread on agar plates. After 24 hours of incubation, the results show that the compound decavanadate was effective up to 3 hours but there is a recovery after 24H.

Keywords: Decavanadate, structure, Synthesis, Gram-negative bacteria.

MIXED MICELLAR ENCAPSULATION OF NAPROXEN FOR ENHANCED SOLUBLIZATION USING SUITABLE SURFACTANTS

Hassan Manzoor
Department of Chemistry, Government College University, Faisalabad-38000, Pakistan

Muhammad Usman
Department of Chemistry, Government College University, Faisalabad-38000, Pakistan

Muhammad Abdullah
Department of Chemistry, Government College University, Faisalabad-38000, Pakistan

ABSTRACT

Interaction of NSAIDs specifically naproxen has been investigated via spectroscopic analysis in TX-100 and Tween-80 mixed surfactant media. The solubilization capabilities of surfactants solutions have been assessed in terms of the partition coefficient (K_x) and binding constant (K_b). Critical micelle concentration (CMC) of the surfactant and hydrophobic associations plays an important role in the said process. Significant enhancement in the solubility of naproxen was observed with the addition of Tween-80 in the TX-100 solution. Solubility was found to be directly related to the extent of mixed micellization. The negative values of the Gibbs energy of binding (ΔG_b) and Gibbs energy of partition (ΔG_p) are the predictors to prove the feasibility and spontaneity of the process. The results, herein, suggest that the use of mixed micellar media for solubilization of naproxen is advantageous over that of a single surfactant.

ROLE OF DIFFERENT SURFACTANTS (TX-100 AND TWEEN-80) IN ENHANCING THE SOLUBILITY OF ANTIBIOTIC DRUGS(LEVOFLOXACIN) FOR BETTER DRUG DELIVERY SYSTEM

Madiha Anwar
Department of Chemistry, Government College University, Faisalabad-38000, Pakistan

Muhammad Usman
Department of Chemistry, Government College University, Faisalabad-38000, Pakistan

Ali Naqi
Department of Chemistry, Government College University, Faisalabad-38000, Pakistan

ABSTRACT

This study investigates the role of two commonly used surfactants, Triton X-100 (TX-100) and Tween-80, in enhancing the solubility of the antibiotic drug levofloxacin, a broad-spectrum fluoroquinolone. Levofloxacin's poor water solubility limits its bioavailability and therapeutic efficacy, presenting a challenge for effective drug delivery. Surfactants like TX-100, a nonionic surfactant with an aromatic ether group, and Tween-80, a nonionic surfactant composed of a polyoxyethylene sorbitan ester, are known for their ability to improve drug solubility by reducing surface tension and forming micelles. In this study, the solubility of levofloxacin was analyzed in aqueous solutions of varying concentrations of TX-100 and Tween-80. The results demonstrated a significant increase in levofloxacin solubility with the addition of both surfactants, with Tween-80 showing a more pronounced effect at lower concentrations. The enhancement in solubility is attributed to the formation of micelles by the surfactants, which encapsulate the hydrophobic drug molecules, thereby increasing their aqueous solubility. This research highlights the potential of TX-100 and Tween-80 as solubilizing agents in pharmaceutical formulations, offering a promising approach to improving the bioavailability of levofloxacin. The findings suggest that surfactant-based strategies could be effectively employed to enhance the therapeutic efficacy of poorly soluble drugs.

THERMAL CHARACTERISTICS FOR THE FLOW OF WILLIAMSON HYBRID NANOFLUID (MOS_2 + ZNO) BASED WITH ENGINE OIL OVER A STRECHED SHEET

Asmat Ullah Yahya
Department of Mathematics, Khwaja Fareed University of Engineering and Information Technology, Rahim Yar Khan, Pakistan

ABSTRACT

The result for enhanced heat transfer to manage increasing heat density of miniature and several other technical processes have urged to analyze thermal transports of hybrid nanofluids. Molybdenum disulfide (MoS_2) and Zinc oxide (ZnO) are hybridized as a very dilute homogenous mixture in the bulk engine oil. The flow of this colloidal fluid with heat transfer occurs through pours medium over a stretching sheet. Moreover, an invariant magnetic field, thermal dissipation, and the heat source are incorporated. Theoretical formulation resulted as, set non-linear partial differential equations. To obtain a numerical solution, similarity transform is hired to yield corresponding ordinary differential equations. Computational software Matlab is availed to run the code for the Runge-Kutta method with shooting technique. A deep insight into the problem is inspected by varying the inputs of the dependent functions influential parameters. It is perceived that the flow speed is hindered by the growing inputs of parameters of magnetic field and porosity. It also comes to know that the velocity $f'(\eta)$ becomes slower with augmentation of φ_2 but the temperature rises. A suitable range of the emerging parameters is tried to observe the variation of physical quantities such as skin fraction facts, velocity, local Nusselt number, and temperature of the fluid.

ACCELERATED CONVERGENCE FOR ELLIPTIC PDES: INTRODUCING THE SECOND REFINEMENT OF PARAMETRIC ACCELERATED OVER-RELAXATION (SRPAOR) ITERATIVE METHOD

Isyaku Abdullahi
Department of Computer Science, Federal College of Animal Health and Production Technology, Ibandan, Nigeria.

ABSTRACT

This paper presents the Second Refinement of Parametric Accelerated Over-Relaxation (SRPAOR), a novel iterative method designed to solve elliptic partial differential equations (PDEs) efficiently. Building upon the existing Parametric Accelerated Over-Relaxation (PAOR) method, SRPAOR introduces a refined parametric strategy that adaptively adjusts the relaxation parameter to optimize convergence. Theoretical analysis and numerical experiments demonstrate that SRPAOR achieves significantly accelerated convergence rates compared to existing iterative methods, including PAOR and classical Accelerated Over-Relaxation (AOR). The SRPAOR method is particularly effective for large-scale, complex elliptic PDE problems, making it an attractive choice for various scientific and engineering applications.

Keywords: Accelerated Overrelaxation Method, Preconditioner, Convergence, spectral radius

AN AUTONOMOUS ROBOTIC VEHICLE USING RASPBERRY PI AND LIDAR-BASED SLAM FOR REAL-TIME NAVIGATION

KAJAL
VIT Bhopal University, School of Electrical and Electronics Engineering, Madhya Pradesh

SACHIN
VIT Bhopal university, School of Electrical and Electronics Engineering, Madhya Pradesh

ASHISH BARPETE
VIT Bhopal University, School of Electrical and Electronics Engineering, Madhya Pradesh

ABSTRACT

Autonomous robotic vehicles are revolutionizing modern robotics by facilitating intelligent navigation and real-time decision-making in dynamic scenes. This paper presents the design of an Autonomous Robotic Vehicle (ARV) based on a Raspberry Pi-based embedded system, a LiDAR sensor, and Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) to facilitate real-time localization and path planning. The system employs sensor fusion techniques to scan LiDAR data, construct accurate environmental maps, and navigate past obstacles.

The system was tested with simulations executed within the Gazebo simulation platform, where it showcased its efficient autonomous navigation, real-time mapping, and obstacle avoidance capabilities. The results verify the vehicle's capacity to learn and adapt to novel environments with high accuracy, which renders it an economical choice to be employed in applications like warehouse automation, smart surveillance, and unmanned ground vehicles. The present research contributes significantly to the autonomous robotics field as it presents the viability of low-cost embedded platforms for real-time SLAM-based navigation.

Keywords: Autonomous Robotic Vehicle, Raspberry Pi, LiDAR, SLAM, Path Planning, Gazebo Simulation , Obstacle Avoidance, Robotics Navigation.

INTRODUCTION

Autonomous robotic vehicles are the core innovation in contemporary robotics that enables intelligent navigation and decision-making in dynamic and complex environments. With fast developments in sensor technology and high-speed embedded computing, autonomous systems become more widely available and cost-effective. Real-time localization and mapping, one of the core challenges in autonomous navigation, enables robotic systems to sense the world around them, build correct environmental models, and navigate optimally without the need for human intervention.

Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) is a popular method that allows robots to create maps of unknown environments while at the same time estimating their position in the map. LiDAR sensors coupled with SLAM have been shown to be a very efficient method for real-time navigation since LiDAR offers high-accuracy distance measurements and environmental sensing. Raspberry Pi, a low-power but high-performance embedded computing platform, provides a low-cost solution for processing sensor data and running navigation algorithms. By integrating these technologies, autonomous robotic vehicles can be developed for various applications.

This research paper outlines the design and implementation of an Autonomous Robotic Vehicle (ARV) utilizing a Raspberry Pi-based embedded system and LiDAR sensor for real-time navigation based on SLAM. The system employs sensor fusion algorithms to process LiDAR data, build precise maps, and move independently in novel environments without collision. The research incorporates verification through simulation using the Gazebo simulation environment and real-world testing to compare the performance of the system. The results confirm the vehicle's ability to dynamically adapt to novel environments with high precision, validating low-cost embedded systems for real-time robotic navigation. The research contributes to the field of autonomous robotics by offering an efficient, low-cost, and scalable approach to intelligent navigation.

MATERIALS AND METHOD

The design and implementation of the Autonomous Robotic Vehicle (ARV) involve a combination of hardware components and software methodologies. The vehicle integrates various sensors and embedded computing platforms to facilitate real-time navigation using Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) and path planning algorithms.

Materials

The primary components used in the system are listed in **Table 1**, detailing the sensors, processing units, and algorithms employed in the project.

Table 1. Hardware Components of the Autonomous Robotic Vehicle

Component	Specification	Purpose
Raspberry Pi 4	4GB RAM, Quad-core Cortex-A72	Main processing unit for sensor fusion and navigation computations
LiDAR Sensor	360° scanning, 12m range	Real-time environmental mapping and obstacle detection
Ultrasonic Sensors	HC-SR04, 4m range	Secondary obstacle detection for redundancy
Camera Module	5MP,1080p resolution	Visual processing and edge detection
Motor Drivers	L298N Dual H-Bridge	Controls movement of the robotic vehicle
Power Supply	12V Li-ion Battery	Provides power to all electronic components

METHOD

The environmental understanding of ARV relies on the amalgamation of SLAM algorithms, path planning, and real-time image processing for mapping and navigation.

Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) is required to enable the ARV to create an accurate map and localize itself within the environment. LiDAR-based SLAM is implemented in this work, which computes the laser scan data to create a 2D map of the environment. The LiDAR sensor periodically scans the environment and updates the occupancy grid with probabilistic models. The SLAM algorithm implemented in this work is Gmapping, which is a light algorithm that uses particle filtering for localization.

PATH PLANNING AND NAVIGATION

For the sake of efficient navigation, Autonomous robotics vehicle utilizes two popular graph search algorithms:

A-Star Algorithm: A heuristic algorithm for path finding that seeks to balance cost and efficiency with shortest path and obstacle evasion. It uses Euclidean distance heuristic to inform optimal movement choices.

Dijkstra's Algorithm: One of the earliest shortest path algorithms that will find the path of least cost from nodes, yielding robust pathfinding in any setting.

These algorithms are implemented to determine the most efficient route from the ARV's starting position to its target destination while dynamically adjusting for detected obstacles.

IMAGE PROCESSING FOR OBSTACLE DETECTION

In addition to LiDAR-based mapping, edge detection techniques are also utilized for improved obstacle detection. The below are utilized:

Canny Edge Detection: A process of detecting edges step by step by identifying pixel intensity changes so that the system is able to detect lane markings and obstacles.

Hough Transform: A feature extraction technique employed to detect lines and shapes in the environment, especially effective in object boundary detection and road edge detection. Simulation and Testing.

The ARV was first tested within a simulated Gazebo environment to validate its SLAM-based navigation and obstacle avoidance capabilities. The simulation environment included dynamic obstacles, different types of terrain, and varying lighting conditions. Successful simulation results led to testing experiments within controlled setups in the real world to validate the performance of the developed system.

SYSTEM FLOW

The Autonomous Robotic Vehicle (ARV) uses a formal decision-making approach to provide real-time navigation and detection of obstacles. Figure 1 shows the system's workflow where

the Raspberry Pi converts sensor readings and enacts navigation choices from the use of given algorithms.

System Workflow of the Autonomous Robotic Vehicle

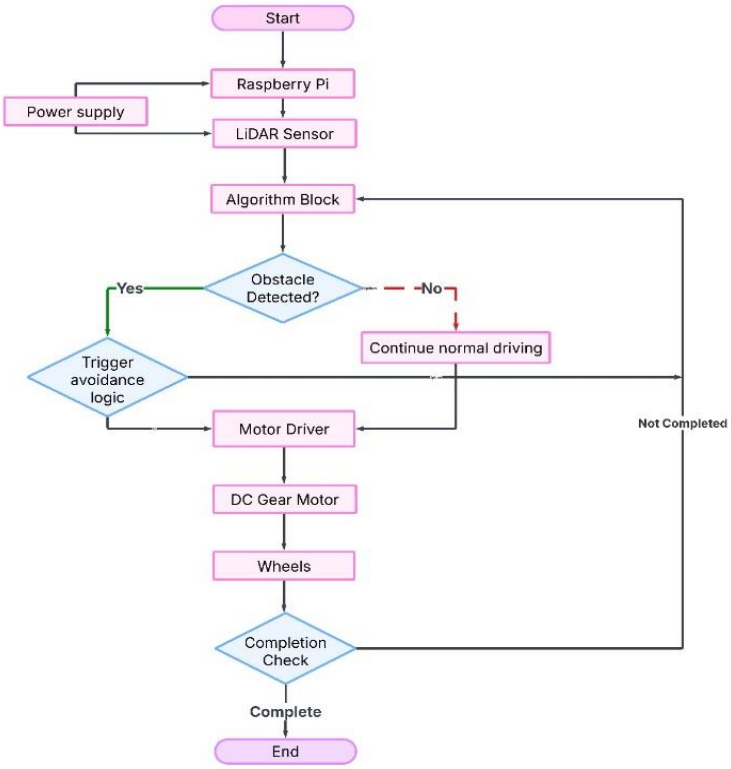


Figure 1: Workflow of the Autonomous Robotic Vehicle (ARV) showing the decision-making process from sensor input to motion execution.

RESULTS AND DISCUSSION

The Autonomous Robotic Vehicle (ARV) capability was validated by a series of simulation and real-world testing to examine its real-time mapping, navigation, and obstacle avoidance capability. The performance of the system was evaluated based on mapping accuracy, obstacle detection performance, and path planning performance.

The ARV was initially tested within a Gazebo simulation environment, which provided a controlled setting in which to experiment with SLAM performance and path planning algorithms before the system was deployed in real-world environments. The simulation involved dynamic obstacles, terrain features, and variable environmental light conditions to challenge the adaptability of the vehicle.

The vehicle was capable of generating a 2D occupancy grid map of the world using LiDAR-based Gmapping. The map accuracy was tested by comparing the generated maps to the actual simulated world setup. The error in localization was always under 5 cm, confirming the accuracy of the system in mapping.The ARV used ultrasonic and LiDAR sensors to identify obstacles ahead of its trajectory. The vehicle responded to static and dynamic obstacles in

real-time. It adapted dynamically using the Dijkstra's algorithms.Path Planning Efficiency: The system was experimented with various start and end points to analyze the navigation efficiency of the system. A* algorithm generated quicker route calculations, while the Dijkstra's algorithm generated more efficient routes in complex environments.

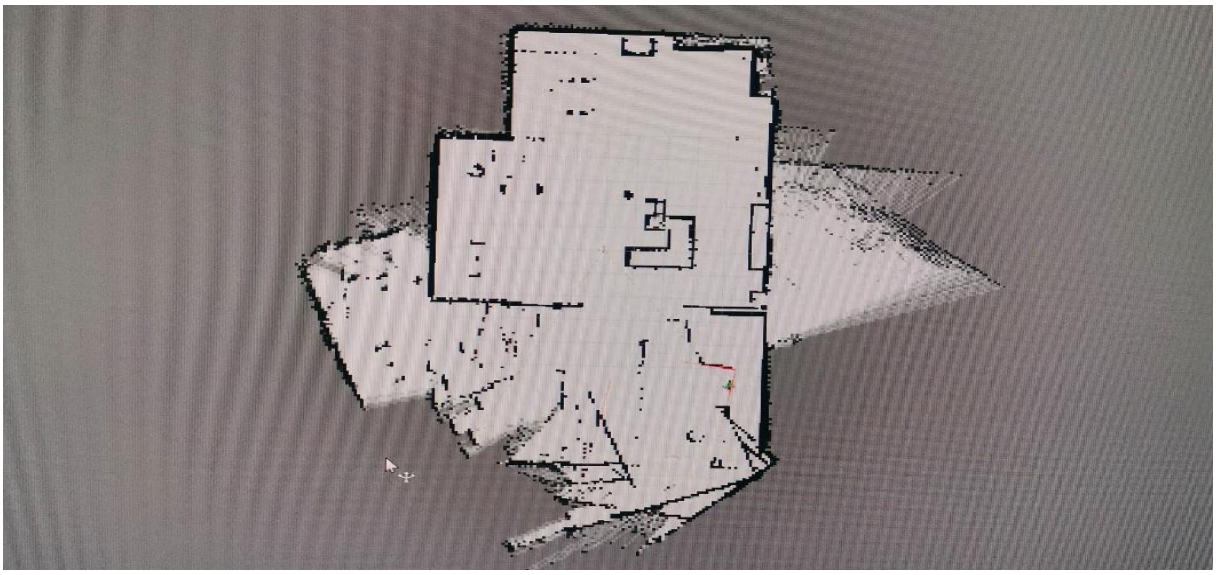


Figure 2: SLAM-generated map using LiDAR, showing the ARV's real-time environment mapping.

The completed occupancy grid map, illustrated in **Figure 3,** was accomplished through the simulation setting with the help of the LiDAR-based SLAM methodology. The ARV correctly mapped the environment with the distinction between walls, obstacles, and open space detected to a very high degree. Localization error never exceeded **5 cm**, proving the correctness of the mapping algorithm.

The generated map was comparable to the actual simulated world layout, confirming the stability of the SLAM implementation. The system utilized **sensor fusion** integrating **LiDAR and ultrasonic sensors** for enhanced environmental perception and object detection. This ensured that static and dynamic objects were identified in real time, allowing the ARV to navigate efficiently without collision.

The algorithm of path planning was tested using different **start and end points** to investigate route optimization. The **A* algorithm** was found to perform **faster route calculations**, and hence it is suitable for real-time applications. **Dijkstra's algorithm**,on the other hand, generated more optimal paths in complex environments, where global path optimality was more of a concern compared to computation time.

These results confirm that the proposed autonomous robotic vehicle is actually able to carry out **real-time SLAM-based navigation** effectively, adaptively navigating around obstacles and environmental variations. The system's precision and robustness make it a good solution for **warehouse robotics, surveillance, and unmanned ground vehicle tasks**. Future work

can focus on reducing sensor noise and improving localization accuracy in highly dynamic environments.

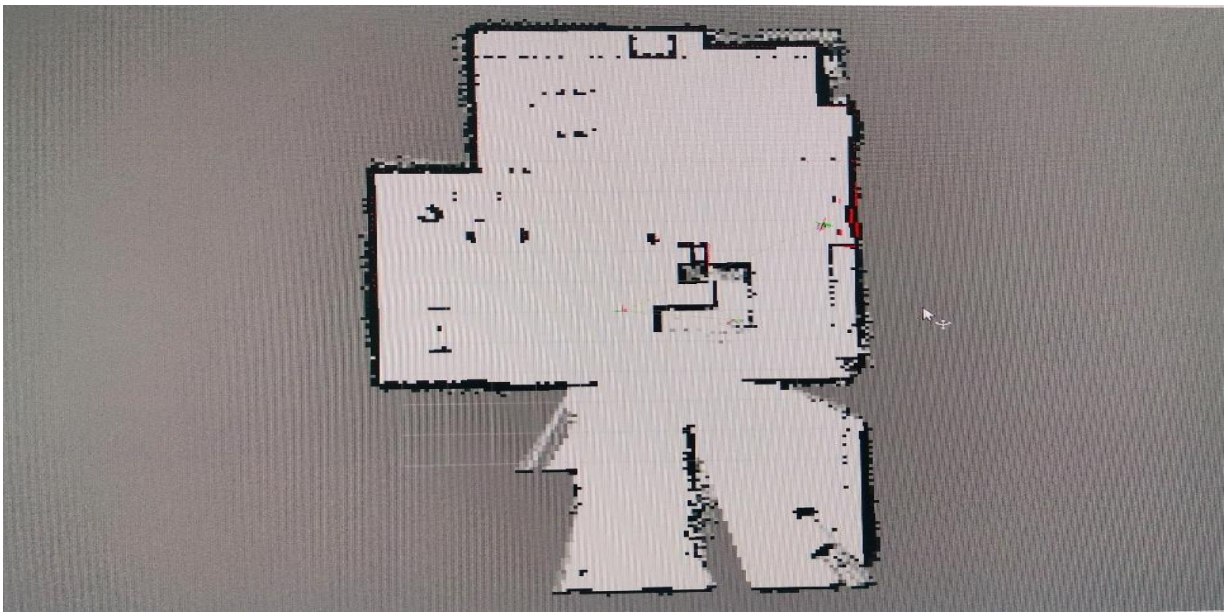


Figure 3: 2D occupancy grid map generated using LiDAR-based SLAM in the simulation environment, demonstrating accurate mapping with minimal localization error.

Following successful generation of a 2D occupancy grid map using LiDAR-based SLAM, the Autonomous Robotic Vehicle (ARV) was tested for effective navigation to a specified destination. The image shows the deployment of the path-planning process, where the robot computes the optimal path with real-time obstacle avoidance. The pink areas in the image show the detected obstacles, and the blue boundary shows the area of free navigation. The red path line shows the shortest path computed from the robot's initial position to its target destination, dynamically computed with A and Dijkstra's algorithms* for optimal and collision-free navigation.

The ARV begins at its starting point, perpetually processing the environment with LiDAR sensor data. Moving, the vehicle dynamically changes path when it senses obstacles, proving the system's flexibility in practical applications. The A algorithm* is computationally efficient in terms of quickly choosing a path with consideration for real-time environmental dynamics, making it suitable for real-time navigation. Dijkstra's algorithm, being computationally intensive, guarantees global path optimality and is ideal in complex environments where accuracy matters. The simulation environment tested the ARV against dynamic obstacles and terrain variations, further proving the robustness of the navigation system.

The occupancy grid map helped ensure that all the obstacles were properly detected and mapped, preventing collisions during navigation. The robot having the capability to keep track of the calculated path with a less than 5 cm localization error signifies the precision and reliability of the SLAM-based navigation system. The successful execution of the planned

path confirms that the ARV is capable of navigating autonomously in difficult environments with high precision.

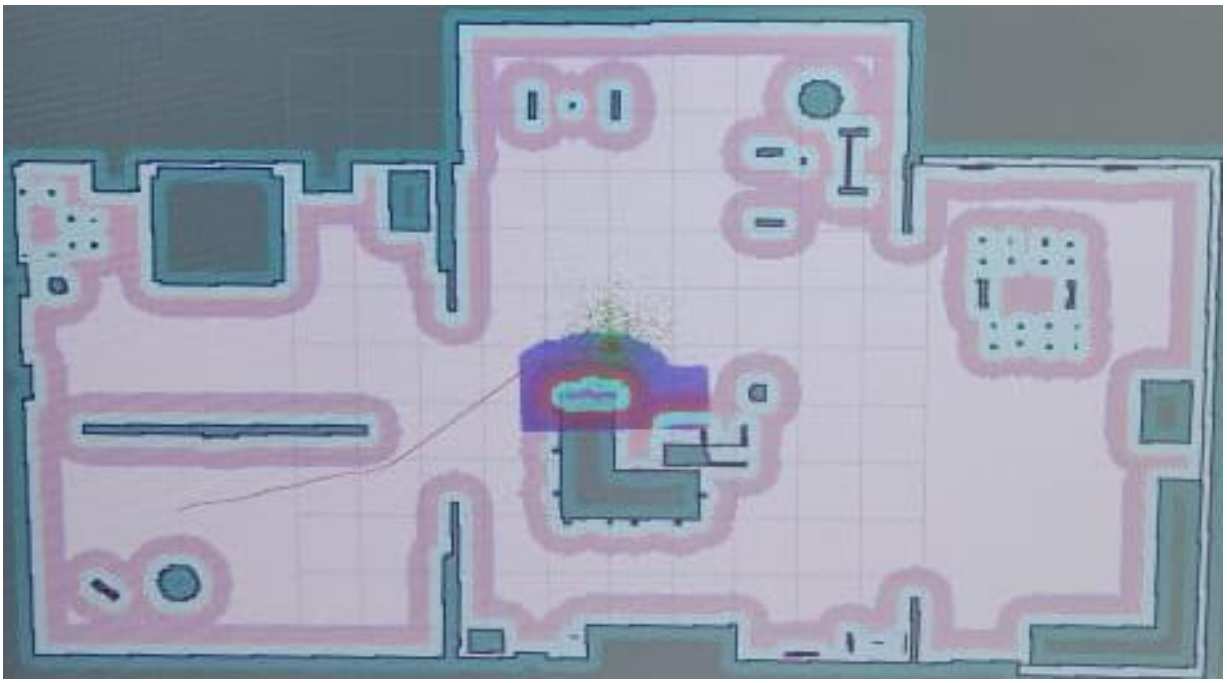


Figure 4: Path Planning and Navigation Execution in Simulation

Experimental assessment of the Autonomous Robotic Vehicle (ARV) was done under simulation using Gazebo, and its performance was tested based on mapping accuracy, obstacle detection, and path planning efficiency. The ARV was able to build a 2D occupancy grid map from LiDAR-based Gmapping. The maps built were compared with the actual simulated environment, and the system was demonstrated to have less than 5 cm localization error and validated the high accuracy of the mapping process. Such accuracy guarantees safe environment perception, which is essential for autonomous navigation.

With regard to the detection and evasion of obstacles, the ARV employed LiDAR and ultrasonic sensors in detecting objects ahead of it. The vehicle achieved real-time response to both dynamic and static obstacles, adapting dynamically to change the trajectory and elude collisions. The integration of multiple sensors produced a more accurate detection range for efficient navigation despite complex environments. The capability for detecting obstacles forward and responding speedily to navigate greatly enhanced the system's dependability in the real world.

Obstacle Detection and Avoidance

Effectiveness of path planning was validated by incorporating several points of start and end in the simulation. The A* algorithm was found to be effective in providing quicker route calculations and was thus suitable for real-time applications where quick decision-making is needed. Dijkstra's algorithm, while being more computationally expensive, provided more optimized routes in complex environments, providing the shortest distance of travel.

Implementation of these algorithms enabled the ARV to achieve maximum speed and efficiency based on environmental complexity.

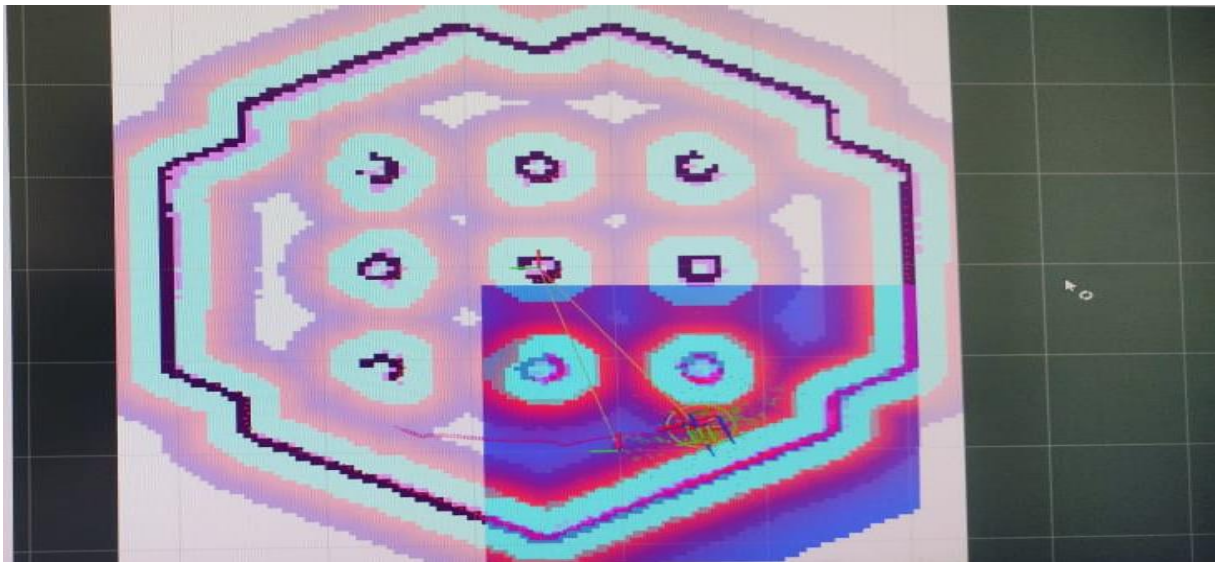


Figure 5: Real time Obstacle detection and avoidence

The system also showcased real-time adaptability by recalculating routes dynamically as it encountered unexpected barriers. The combination of SLAM, LiDAR-based perception, and sophisticated path planning methods enabled the vehicle to travel with optimal efficiency while keeping navigation errors to a minimum. The overall performance of the ARV showcased its ability to perform autonomous navigation tasks with high precision and obstacle avoidance reliability. This work confirms the viability of a low-cost, Raspberry Pi-based robot system for real-world applications like warehouse automation, smart surveillance, and unmanned ground vehicles. Future endeavors can be directed towards sensor noise reduction, computation efficiency optimization, and real-world environment testing to make the system more practical and robust.

To validate the simulation results, the physical implementation of the autonomous robotic vehicle was done using the hardware setup developed. The prototype developed closely mimics the simulated model in performance and functionality. It can navigate the world, detect obstacles using LiDAR, and make real-time path planning decisions based on the SLAM algorithms implemented.

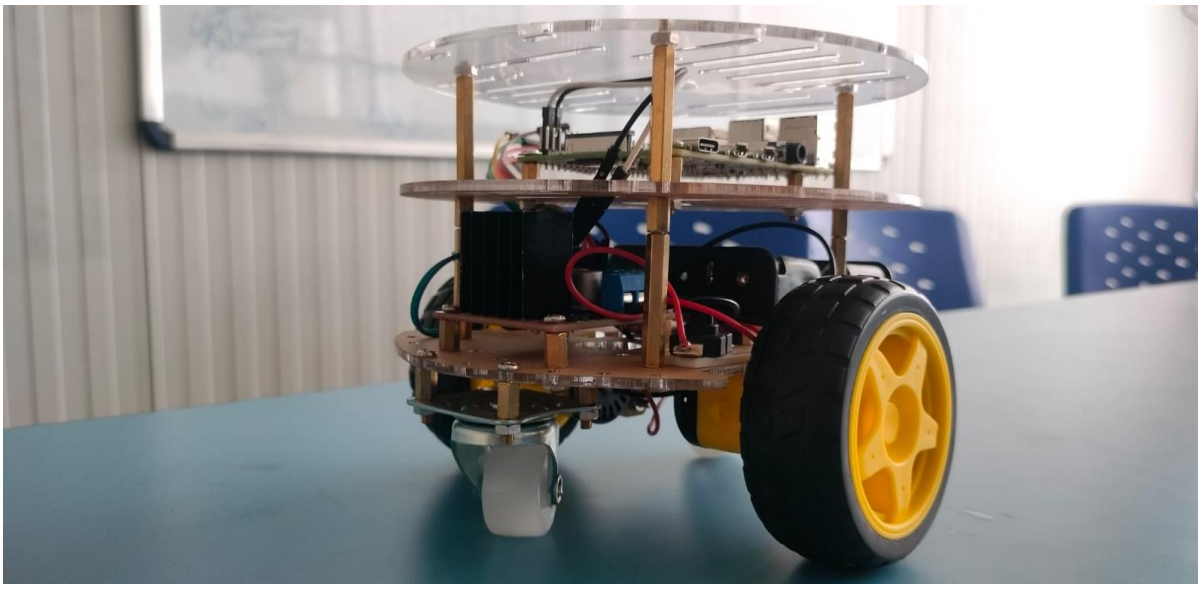


Figure 6: Real-time Prototype of the Autonomous Robotic Vehicle

CONCLUSION

The implementation and deployment of an Autonomous Robotic Vehicle (ARV) using Raspberry Pi, LiDAR-based SLAM, and sophisticated path planning algorithms proved the viability of an effective and low-cost autonomous navigation system. The study was able to successfully integrate different components, such as real-time mapping, obstacle avoidance, and smart path planning, to create a self-contained robotic vehicle that can adjust to changing environments.

Simulation tests confirmed the system's ability to generate precise 2D occupancy grid maps, maintaining a localization error of less than 5 cm. The combination of LiDAR and ultrasonic sensors gave strong obstacle detection, enabling the vehicle to pass through static and dynamic obstacles with safety. The use of A* and Dijkstra's algorithms also improved navigation efficiency, balancing quick route calculation against optimal path selection. The results position the ARV as a potential solution for autonomous navigation in structured and unstructured environments.

The research suggests possible uses of the ARV in warehouse automation, smart surveillance, and unmanned ground vehicles, where autonomous decision-making and real-time adaptability are essential. Because of its efficacy, the future can look to improve sensor accuracy, minimize computational load, and utilize the system in the real world to continue evaluating it. The research adds to the emerging body of literature in autonomous robotics by proving the viability of an inexpensive, embedded system-based robotic vehicle for intelligent navigation and real-time decision-making. The alignment between simulation results and real-world prototype performance emphasizes the robustness and applicability of the developed autonomous robotic vehicle system.

REFERENCES

Akash, A.H., Tahmiduzzaman, K.B.M., Zumma, M.T., Halder, D., Rahman, M. and Rahman, N., 2022, October. Autonomous Path Planner Vehicle Using Raspberry PI. In *2022 13th International Conference on Computing Communication and Networking Technologies (ICCCNT)* (pp. 1-7). IEEE.

Chiang, K.W., Tsai, G.J., Li, Y.H., Li, Y. and El-Sheimy, N., 2020. Navigation engine design for automated driving using INS/GNSS/3D LiDAR-SLAM and integrity assessment. *Remote Sensing*, *12*(10), p.1564.

Day, C., McEachen, L., Khan, A., Sharma, S. and Masala, G., 2020. Pedestrian recognition and obstacle avoidance for autonomous vehicles using raspberry Pi. In *Intelligent Systems and Applications: Proceedings of the 2019 Intelligent Systems Conference (IntelliSys) Volume 2* (pp. 51-69). Springer International Publishing.

Krauss, R., 2016, July. Combining Raspberry Pi and Arduino to form a low-cost, real-time autonomous vehicle platform. In *2016 American control conference (ACC)* (pp. 6628-6633). IEEE.

Pannu, G.S., Ansari, M.D. and Gupta, P., 2015. Design and implementation of autonomous car using Raspberry Pi. *International Journal of Computer Applications*, *113*(9).

Qin Zou, Qin Sun, Long Chen, Bu Nie, Qingquan Li, "A Comparative Analysis of LiDAR SLAM-Based Indoor Navigation for Autonomous Vehicles", IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems vol.23, Issue.7, pp. 6907-6921 July 2022

Sowmya, K.V., Jamedar, H. and Godavarthi, P., 2020. Remote Monitoring System of Robotic Car Based on Internet of Things Using Raspberry Pi. Journal of Computational and Theoretical Nanoscience, 17(5), pp.2288-2295.

EXPLORING THE EVOLVING DYNAMICS OF ORGANIZATIONAL BEHAVIOR: A COMPREHENSIVE REVIEW OF EMERGING TRENDS AND PRACTICES

Praveen Kakada
Dr., VIT Business School, Vellore Institute of Technology, Chennai, Tamil Nadu, India.

ABSTRACT

This review article explores the dynamic landscape of Organizational Behavior (OB) by examining emerging trends and their impact on modern workplaces. The study synthesizes recent literature to highlight key developments such as remote work culture, emotional intelligence in leadership, employee well-being initiatives, and the integration of artificial intelligence in organizational decision-making. It delves into the evolving nature of employee engagement, teamwork, and organizational culture, emphasizing the role of technology in reshaping traditional OB practices. The review also investigates the challenges posed by hybrid work models, diversity management, and employee adaptability in the face of rapid change. By consolidating insights from diverse research findings, this article provides actionable strategies for organizations seeking to foster resilience, inclusivity, and sustainable performance. The findings aim to equip scholars and practitioners with practical knowledge to navigate the complexities of contemporary organizational dynamics effectively.

Keywords: Employee Engagement, Remote Work, Emotional Intelligence, Leadership Styles, Workplace Well-being.

ARTISTIC INTERVENTIONS IN NATURE: TEMPORARY AND PERMANENT LANDSCAPE INSTALLATIONS

Tuğba DÜZENLİ
Prof. Dr., Karadeniz Technical University, Department of Landscape Architecture, Trabzon, Turkey,
ORCID ID: 0000-0001-6957-3921

Elif Merve ALPAK
Prof. Dr., Karadeniz Technical University, Department of Landscape Architecture, Trabzon, Turkey,
ORCID ID: 0000-0002-2306-4299

ABSTRACT

The interaction between nature and art has manifested itself across various disciplines throughout history. Landscape architecture enables the creation of aesthetically and functionally integrated spaces through artistic interventions in nature. This study examines temporary and permanent landscape installations, addressing the spatial and environmental impacts of artistic interventions in natural settings. The contribution of temporary installations to spatial perception and their effects on sustainable artistic production are evaluated in comparison with permanent landscape art. By exploring the cultural, ecological, and social dimensions of artistic interventions in nature, this study aims to highlight their contributions to landscape architecture.

The relationship between art and nature has taken different forms throughout history. Artistic interventions in nature, which emerged with the Land Art movement, have become a significant design tool in landscape architecture. This study investigates the interactions between temporary and permanent landscape installations and their spatial and social effects. Landscape installations are artistic and design interventions, either temporary or permanent, that engage with the natural and cultural environment while offering spatial experiences. Positioned at the intersection of landscape architecture, art, and design disciplines, these installations provide audiences with an opportunity to experience nature and the environment from a different perspective.

Landscape installations are artistic interventions created in specific spaces using natural or artificial materials. These interventions can be either temporary or permanent. While temporary installations undergo transformation over time through their interaction with nature, permanent installations establish a long-term spatial identity. Landscape installations intersect with various disciplines, including public art, ecological art, and experiential space design. This study aims to assess the aesthetic, ecological, and functional aspects of landscape art, emphasizing the significance of artistic interventions in landscape architecture.

Keywords: Landscape Architecture, Art, Installation, Nature.

INTRODUCTION

The interaction between nature and art has been addressed by different cultures and disciplines throughout history, being interpreted in various ways according to the aesthetic, ecological, and philosophical understandings of the time. Today, especially in the context of contemporary art and landscape architecture, artistic interventions in nature stand out as artistic practices that question the relationship between humans and the environment, gaining meaning based on the context of the space in which they are placed (Kaya & Özdemir, 2019). In this context, landscape installations are considered not merely as a backdrop for nature but as a creative process that integrates with or transforms nature. In installation art, ensuring harmony between objects and space aims to create a conceptual and aesthetic impact on the viewer. The artist freely utilizes different materials and techniques to reflect the intended message in their work (Yılmaz, 2020). By incorporating the audience into the design process, the goal is to provide them with a direct experience.

Landscape Installation

Landscape installation is a three-dimensional artistic arrangement conducted in a specific natural or urban area, located at the intersection of art and landscape architecture (Kwon, 2002). These installations are site-specific artworks that use both natural and man-made elements, establishing an aesthetic, ecological, and cultural dialogue with their surroundings.

Landscape installations are associated with disciplines such as land art, environmental art, and ecological art and are generally designed as temporary or permanent artistic structures that interact with nature (Günay, 2011). Such artistic interventions can be realized in various scales and contexts, including parks, gardens, wetlands, coastal ecosystems, forests, or abandoned industrial sites.

Fundamental Characteristics of Landscape Installations

Site-Specific Nature: Landscape installations are not portable artworks that can be placed in random locations. They are designed in integration with the geography, climate, ecological structure, and historical context in which they are situated.

Use of Natural and Artificial Elements: Installations often incorporate natural materials such as stone, soil, water, plants, and wood, as well as human-made elements like metal, glass, concrete, and recycled materials.

The Relationship Between Art and Ecology: These works do not regard nature merely as a decorative element but as an active component of the art itself. Some support ecological processes, contributing to sustainable design principles.

Temporal Variability: Temporary landscape installations may transform according to seasonal and climatic changes, while permanent installations evolve in harmony with their natural environment over time.

Cultural and Social Context: Landscape installations are not merely artistic interventions in nature; they also serve as works that convey cultural, historical, and social messages.

CATEGORIES OF LANDSCAPE INSTALLATIONS

Landscape installations are generally divided into two main categories: temporary and permanent (Topçuoğlu, 2016).

A) Temporary Landscape Installations

These are works in which natural materials and environmental interaction are at the forefront (Yılmaz, 2020). They dissolve, decay, or erode due to wind or water, eventually becoming part of nature's cycle. Seasonal exhibitions, art projects created within festivals, or ecological designs that follow biological processes fall into this category (Table 1).

Table 1. Examples of Temporary Landscape Installations

Andy Goldsworthy's natural artistic arrangements created with leaves, stones, and branches
   
Christo and Jeanne-Claude's large-scale fabric installations on buildings and water
   
Ice sculptures created in nature, kinetic art pieces that move with the wind
   

B) Permanent Landscape Installations

These are artworks that endure for a long time and become a permanent part of the landscape. They are created using durable natural or artificial materials (such as stone, metal, wood, steel, etc.) (Table 2). Projects aimed at preserving cultural heritage or giving a new identity to a place also fall within this category.

Table 2. Examples of Permanent Landscape Installations

James Turrell's Roden Crater project, which explores the relationship between light and landscape
  
Robert Smithson's artwork Spiral Jetty, created using natural and artificial materials
  
Large-scale stone or metal monuments, sculpture, and installation projects within parks
  

CHARACTERISTICS OF LANDSCAPE INSTALLATIONS

1. Concept and Thematic Structure

- **Artistic Expression**: Landscape installations are primarily designed to convey a specific message, emotion, or narrative through space (Alpak, 2018).
- **Sources of Inspiration**: They can be shaped by nature, ecological processes, historical events, cultural references, or social themes (Erzen, 2004).
- **Participatory and Interactive Structure**: Designs are created to allow users to explore and experience the space, engaging them as active participants.

2. Material Usage and Ecological Sensitivity

- **Natural Materials**: Elements such as wood, stone, water, and plants are frequently used.
- **Recyclable and Sustainable Materials**: The reuse of waste materials or solutions with a low carbon footprint are emphasized.
- **Biophilic Design**: Biophilic design principles are applied to enhance the positive effects of natural elements on human psychology and well-being.

3. User Experience and Spatial Interaction

- **Perceptual and Sensory Experience**: Sensory elements such as light, shadow, sound, texture, and scent play a crucial role in design.
- **Dynamic and Flexible Use**: Modular or adaptable systems are developed to allow users to experience the space in various ways.
- **Education and Awareness**: Installations may include educational and awareness-raising elements to highlight environmental issues.

4. Ecological and Sustainable Design Principles

- **Climatic Adaptation**: The installation is designed to be compatible with the climate and ecosystem of its location.
- **Green Infrastructure and Carbon Footprint Reduction**: Solutions are developed to mitigate urban heat islands, provide microclimatic benefits, and reduce carbon emissions.
- **Rainwater Management**: Permeable surfaces, rainwater harvesting, and irrigation systems are integrated into the design.

5. Time and Change

- **Temporary or Permanent Nature**: Some installations are designed for specific events or seasons, while others are planned as long-term landscape elements.
- **Adaptation to Seasonal Changes**: The adaptation of plant materials to changing seasonal conditions is considered.
- **Dismantlability and Portability**: Temporary installations can be easily dismantled after an event or reused in different locations.

6. Social and Cultural Context

- **Local Identity and Cultural Values**: Installations can be designed in harmony with the cultural fabric and historical context of their location.
- **Community Participation and Co-Production**: Design processes that involve users and local communities in collaborative creation are encouraged.
- **Spaces for Social Interaction**: Areas that support community gatherings and events are created.

7. Technology and Innovation

- **Smart Materials and Sensors**: Interactive experiences can be created using smart materials and sensors that respond to environmental factors.
- **Digital Art and Lighting**: Installations can be integrated with digital art applications such as LED technology, projection mapping, and augmented reality.
- **Modular and Adaptive Systems**: Modular designs that can be transformed to meet different spatial needs are utilized.

Landscape installations provide innovative spatial solutions that combine aesthetics and functionality, adding value to urban life and natural areas. A balanced integration of ecological sensitivity, user experience, art, and social context forms the foundation of a successful landscape installation design. Installation art can be defined as a form of art that actively involves the audience in the design process and emphasizes the active use of space (Özçam, 2019). Installations in public spaces may serve a specific function or solely provide a new identity to a space through aesthetic and symbolic meanings. Due to their dynamic nature, such artistic arrangements interact directly with users, transforming the perception of space.

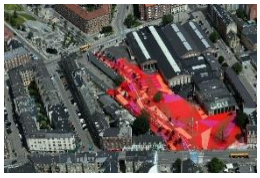
According to Meriç (2018), installation art is not limited to artworks that are merely observed from a distance; rather, it offers experiential spaces that can be sat on, walked through, touched, heard, or even tasted, evoking different emotions. The interaction between the artwork and the user enhances its memorability while allowing each individual to develop a unique perception. This diversity highlights the significance of public open spaces as

experimental platforms for artistic practices. As stated by Toluyağ (2020), the essence of installation art is not simply placing an object in a random space but rather allowing the space to give meaning to the object, creating a livable environment. In this context, space is not just a physical setting but an environment that is shaped, transformed, and experienced through user interactions (İnceoğlu & Aytuğ, 2009). A space formed by the combination of dynamic elements becomes an interactive experience zone where art and the audience engage with each other.

Globally significant landscape installations have been classified according to their types, main themes, and durations in Table 3.

Table 3. Examples of Installations from Around the World

Image	Installation Name	Location	Designer / Artist	Type	Main Themes	Duration
	The Serpentine Pavilion	Londra, England	Different architects each year	Temporary Pavilion	Experimental Architecture, Public Space	Temporary (Changes every year)
	Vertical Forest (Bosco Verticale)	Milano, İtaly	Stefano Boeri	Vertical Green Structure	Sustainability, Green Cities	Permanent
	The Lightning Field	New Mexico, ABD	Walter De Maria	Land Art	Nature and Perception, Minimalism	Permanent
	The High Line	New York, ABD	James Corner Field Operations, Diller Scofidio + Renfro, Piet Oudolf	Urban Reuse	Industrial Transformation, Community-Oriented Design	Permanent

Image	Installation Name	Location	Designer / Artist	Type	Main Themes	Duration
	Superkilen	Kopenhag, Denmark	BIG (Bjarke Ingels Group), Topotek1, Superflex	Multicultural Landscape	Cultural Diversity, Public Space	Permanent
	The Eden Project	Cornwall, England	Nicholas Grimshaw	Biomorphic Landscape	Biodiversity, Climate Change	Permanent
	The Floating Piers	Iseo Lake, İtaly	Christo ve Jeanne-Claude	Temporary Water Installation	Movement on Water, Temporary Art	Temporary(2016)
	Cloud Gate	Chicago, ABD	Anish Kapoor	Public Art Installation	Reflection, Urban Identity	Permanent
	Park Güell	Barcelona, Spain	Antoni Gaudí	Historic Park and Garden	Organic Forms, Integration with Nature	Permanent
	L'Anneau de la Mémoire	Nord-Pas-de-Calais, France	Philippe Prost	Monumental Landscape	Historical Commemoration, Collective Memory	Permanent

THE STATUS OF LANDSCAPE INSTALLATIONS IN TURKEY

In Turkey, landscape installations are developing at the intersection of art, ecology, and urban planning. However, compared to Western countries, they have not yet been widely or systematically implemented. In recent years, some significant landscape installations have been realized, particularly in metropolitan areas, within the scope of public art projects, ecological awareness initiatives, and urban transformation processes.

Projects that merge public art and landscape generally emerge within festivals, biennials, or special projects (Table 4). These installations are mostly temporary and aim to raise urban awareness.

- Istanbul Biennial and Public Space Art Installations: During biennials, temporary installations that integrate art and landscape have been created in various locations across Istanbul.
- Cappadocia Art International: Installations created by artists within Cappadocia's natural landscape serve as examples where nature and art are intertwined.
- METU Forest Sculpture Park: Located within the forested area of the Middle East Technical University (METU) campus, this park features permanent sculptures and landscape installations that harmonize with nature.

Table 4. Examples of Installations from Our Country

İstanbul Bienali ve Kamusal Alan Sanat Enstalasyonları:		
		
Cappadocıa Art Internatıonal:		





ODTÜ Ormanı Heykel Parkı:





In our country, projects that merge art and landscape in public spaces are increasing. However, these projects are mostly temporary and sponsorship-based. There is a lack of long-term and sustainable installation projects. More incentives are needed for the integration of art and landscape, particularly in urban recreational areas.

CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS

With advancements in technology, contemporary designers have the opportunity to develop a new language of expression in their work and explore various alternatives to effectively convey the conceptual framework of their designs to the audience. One such application is spatial installations in public open spaces, which allow users to experience the space in diverse ways. The fact that the viewer does not remain a passive observer but instead becomes a part of the design—experiencing it through touch and personal interaction—further enhances the impact of spatial installations. These works, which incorporate elements of surprise and aim to communicate a specific idea, become more memorable and meaningful.

Academic studies on landscape installations indicate that such projects enhance the sense of urban belonging, strengthen the connection between humans and nature, and increase public awareness of ecological issues. In the context of ecological art and sustainable landscape architecture, the development of designs that intervene in nature while coexisting harmoniously with it is becoming increasingly significant. In this regard:

The integration of green infrastructure and art should be further encouraged, prioritizing the use of ecological materials and incorporating recycling processes into landscape design. Community-driven landscape installations can contribute to making public spaces more livable and sustainable. Local governments and academic institutions should develop policies that support nature-integrated art projects. Interactive landscape installations supported by digital technologies can provide new experiences in the relationship between art and nature.

In conclusion, landscape installations are not merely artistic interventions; they are also powerful tools that support ecological sustainability, raise social awareness, and contribute to the economy. Considering global climate crises and urbanization challenges, increasing efforts toward the integration of art and nature holds great importance.

REFERENCES

Alpak, E. (2018). Sanat, ekoloji ve sürdürülebilirlik: Güncel sanatta doğa ve çevre temsilleri. Ütopya Yayınları.

Erzen, J. N. (2004). Sanatın Görgüsü. Metis Yayınları.

Günay, B. (2011). Mimarlık ve peyzaj estetiği: Kent ve peyzaj estetiği üzerine denemeler. ODTÜ Yayıncılık.

İnceoğlu, M., ve Aytuğ, A. (2009). The Concept of Urban Space Quality, Megaron, 4(3), 131-146.

Kaya, F. & Özdemir, E. (2019). Peyzaj tasarımında sanatsal müdahaleler: Arazi sanatı örnekleri. Peyzaj Mimarlığı Dergisi, 14(1), 112-128.

Kwon, M. (2002). One place after another: Site-specific art and locational identity. MIT Press.

Meriç, N. (2018). Enstalasyon Sanatında Yüksek Teknoloji Kullanımı, ICUHTA International Congress of Usage of High Technology in Arts, İstanbul Gelişim Üniversitesi Yayınları, ISBN: 978-605- 4827-52-7 (elektronik), 274-281, 19-20 Nisan

Özçam I. (2019). Ticari Mekânlarda Enstalasyonla Yaratılan Dinamikler. Tasarım+Kuram Journal, 15(27), 64- 76. 10.14744/tasarimkuram.2019.06978.

Toluyağ, D. (2020). Sanat Pratiğinde Enstalasyon, Mekân, Nesne. Akademik Sanat, 5(11), 101-114.

Topçuoğlu, L. (2016). Mimarlık ve doğa: Ekolojik tasarım yaklaşımları. Literatür Yayıncılık.

Yılmaz, H. (2020). Kamusal alanlarda sanatın rolü: Peyzaj enstalasyonları ve sosyal etkileşim. Kent ve Kültür Araştırmaları Dergisi, 8(3), 75-89.

Yılmaz, H. (2020). Kamusal alanlarda sanatın rolü: Peyzaj enstalasyonları ve sosyal etkileşim. Kent ve Kültür Araştırmaları Dergisi, 8(3), 75-89.

URBAN MEMORY SPACES AT THE INTERSECTION OF ART AND LANDSCAPE

Tuğba DÜZENLİ
Prof. Dr., Karadeniz Technical University, Department of Landscape Architecture, Trabzon, Turkey,
ORCID ID: 0000-0001-6957-3921

Elif Merve ALPAK
Prof. Dr., Karadeniz Technical University, Department of Landscape Architecture, Trabzon, Turkey,
ORCID ID: 0000-0002-2306-4299

ABSTRACT

Cities are dynamic spaces where historical, cultural, and social memory accumulates. Urban memory spaces can be defined as places that shape a city's identity and keep collective memory alive. These spaces can undergo both aesthetic and functional transformation through the integration of art and landscape. Urban memory spaces reflect a city's past, culture, and identity, encompassing historical buildings, monuments, parks, squares, and industrial heritage sites. The fusion of art and landscape in these areas strengthens their identity while simultaneously preserving collective memory and enhancing urban life quality. This study aims to examine the conceptual framework, design principles, and case studies of urban memory spaces where art and landscape intersect.

Urban memory is a phenomenon that carries traces of a place's past, cultural heritage, and collective identity. Landscape architecture and art offer significant tools for preserving, reinterpreting, and integrating urban memory spaces into contemporary society. This study explores how the combination of art and landscape design shapes urban memory spaces. By analyzing the physical and symbolic layers of these spaces, the role of art in urban landscapes is examined. Additionally, the impact of the integration of art and landscape on urban spaces is discussed through international and local case studies.

Cities have long been repositories of historical traces and collective memory. Urban memory spaces merge past imprints with contemporary spatial practices to create a sustainable identity. Landscape architecture and art play a critical role in reinterpreting and recontextualizing these spaces. This study analyzes how the convergence of art and landscape transforms urban memory spaces.

Keywords: Landscape Architecture, Art, Urban Memory

INTRODUCTION

Urban spaces are not solely defined by their physical structures and infrastructure; they also embody the spatial reflections of collective memory, cultural identity, and social

remembrance (Kuban, 2000). In this context, urban memory spaces stand out as unique places that shed light on a city's past, its cultural diversity, and its social interactions (Assmann, 2011). In the design and preservation of these spaces, art and landscape architecture emerge as two complementary and powerful tools. While art adds aesthetic and symbolic value to public spaces, landscape design ensures their ecological, social, and functional sustainability.

Due to globalization, rapid urbanization, and neoliberal policies, spatial memory is increasingly being erased in many cities, giving rise to standardized and identity-less spaces. This phenomenon weakens the inhabitants' sense of belonging to place and hinders the transmission of collective memory (Erkılıç, 2008). In this regard, designs that integrate art and landscape offer more than just physical arrangements; they establish connections between the past and the present, enriching the layers of meaning within urban space (Çıkış, 2005). Especially public art forms such as sculpture, installation, site-specific art, and community-based artistic practices, when integrated with landscape elements, contribute significantly to the construction of spatial narratives.

Memory spaces shaped at the intersection of art and landscape not only serve a commemorative function but also provide a foundation for participatory, transformative, and healing processes. These spaces can facilitate individuals' confrontation with social events, help them cope with trauma, and contribute to the construction of new collective narratives (Öztürk, 2013). Particularly post-industrial zones, areas repurposed after war or natural disasters, and spaces that preserve historical textures offer significant potential in terms of both artistic and landscape design practices (Özdemir, 2019).

This study explores the theoretical background of urban memory spaces emerging at the intersection of art and landscape, and discusses how these two disciplines collaboratively contribute to the construction of spatial narrative. Through selected examples from Turkey and around the world, the role of such spaces will be evaluated in terms of user experience, spatial organization, and cultural sustainability.

The Intersection of Art and Landscape

Throughout history, landscape and art have been two fundamental modes of expression that shape and interpret humanity's relationship with nature. Both assign meaning to space, evoke emotion, and represent cultural values. While art offers aesthetic experiences on a sensory and intellectual level, landscape provides the physical and spatial context in which these experiences unfold (Rendell, 2006). In this context, the intersection of art and landscape goes beyond a merely aesthetic union—it points to holistic spatial experiences where collective memory, identity, and ecological sensitivity are embodied.

The presence of art within the landscape is not limited to the placement of static sculptures or decorative objects. Today, approaches such as site-specific art, community-based art, and environmental art create a dynamic field of artistic production that engages directly with the

landscape. These forms of artistic practice incorporate both natural and artificial landscape elements, enabling users to form a deeper connection with space.

For instance, artists like Andy Goldsworthy question themes such as continuity, transience, and human impact on nature through their ephemeral artworks made from natural materials. Similarly, figures such as Maya Lin employ landscape as both an artistic and commemorative narrative tool. In this approach, the landscape does not merely serve as a backdrop, but becomes an integral component of the artistic narrative (Table 1).

Table 1. Selected Artworks

Andy Goldsworthy artworks (URL 1)		
		
Maya Lin artworks (URL 2)		
		

From the perspective of landscape architecture, the integration of art into design contributes not only aesthetic value but also semantic depth and richness of experience. Sculptures, water features, sound installations, and lighting arrangements used in landscape design serve as elements that guide spatial flow, transform perception, and engage the user (Şahin Güçhan, 2007). Such combinations, particularly in public spaces, add aesthetic and critical dimensions to everyday life, enabling users to establish connections with both individual and collective memory.

This intersection is also significant in terms of sustainability, ecological sensitivity, and social inclusivity. Forms of artistic production that engage directly with nature and highlight environmental issues transform landscape design into not only a physical but also an ethical practice. At this point, art and landscape work together to turn the user into more than a passive observer—into an active participant, agent of transformation, and steward of place.

In summary, the intersection of art and landscape generates a multi-layered spatial narrative encompassing aesthetic, cultural, and ecological dimensions. This convergence does not merely result in visual harmony, but rather creates a space that produces meaning along the axes of time, place, and memory, offering participatory experiences.

URBAN MEMORY SPACES AT THE INTERSECTION OF ART AND LANDSCAPE

Urban memory spaces emerging at the intersection of art and landscape restructure users' relationships with the physical environment while also enabling the transmission of collective memory through spatial experience (Tanyeli, 2011; Yücel, 2016). These spaces are significant not only in terms of aesthetics but also for their roles in social interaction, public participation, and cultural continuity. Various examples from Turkey and around the world illustrate this multilayered function more clearly.

1. Berlin – Denkmal für die ermordeten Juden Europas (Memorial to the Murdered Jews of Europe)

User Experience: Designed by Peter Eisenman, this memorial places the visitor at the center of the experience, diverging from traditional notions of sculpture or museum. As visitors walk through the field of concrete stelae of varying heights, they encounter a sense of abstraction, disorientation, and introspection. This experience creates a spatial form of memory practice.

Spatial Organization: In this space, where landscape and art are fully integrated, concepts such as symmetry, repetition, and voids play a crucial role in both physical navigation and emotional confrontation.

Cultural Sustainability: The memorial reflects Germany's commitment to confronting its past, while also serving as a continuously evolving public memory space that is reinterpreted through each visitor's personal experience.

Berlin – Denkmal für die ermordeten Juden Europas

		
URL 3.	URL 3.	URL 3.

2. Diyarbakır – Keçi Burcu and the Hevsel Gardens

User Experience: Located within the historic Sur district, the area surrounding Keçi Burcu functions both as a landscape bearing traces of historical heritage and as a venue for contemporary art events. Users not only find physical respite in this space but also actively engage with it through participation in various cultural activities.

Spatial Organization: The balanced integration of landscape elements with the historical fabric provides both physical and visual permeability. Open spaces host art exhibitions and workshops, while arrangements that harmonize with the natural topography promote public interaction.

Cultural Sustainability: Listed as a UNESCO World Heritage Site, this area constitutes a multidimensional memory space that supports the sustainability of both traditional agricultural practices and contemporary artistic activities.

Diyarbakır – Keçi Burcu and the Hevsel Gardens

		
URL 4.	URL 4.	URL 4.

3. New York – The High Line

User Experience: As a repurposed industrial site, the High Line offers users a continuously evolving spatial experience through its integration of art installations, performance spaces, and natural landscape along the elevated walkway.

Spatial Organization: Its linear structure provides an uninterrupted public corridor within the city. Art and landscape elements are rhythmically placed along the route, transforming visitors into active participants within the space.

Cultural Sustainability: The High Line serves as a model for both urban transformation and public art practices. While aesthetically reinterpreting the industrial heritage of the past, it evolves into a living cultural space through community-based projects.

New York – The High Line

		
URL 5.	URL 5.	URL 5.

4. Istanbul – Yedikule Gardens and Art Initiatives

User Experience: In recent years, with the support of various civil society and art initiatives, the gardens have transformed from solely agricultural production sites into participatory spaces hosting performances, exhibitions, and workshops.

Spatial Organization: While maintaining their traditional cultivation patterns, the gardens also offer a flexible setting for temporary artistic interventions. Users experience a public space where they can both engage in production processes and interact directly with artists.

Cultural Sustainability: The centuries-old tradition of urban gardening is preserved and reinterpreted through contemporary art practices. In doing so, the space evolves into a living cultural landscape.

Istanbul – Yedikule Gardens and Art Initiatives

		
URL 6.	URL 6.	URL 6.

5. Japan – Echigo-Tsumari Art Triennale

User Experience: This art festival, held in rural areas, fosters interaction between visitors, the natural environment, and local communities. Artists intervene in agricultural fields or abandoned structures to create new layers of meaning.

Spatial Organization: Each artwork is specifically designed in response to the natural and cultural context of its site. Instead of being concentrated in a single location, the spatial layout is dispersed across a vast rural landscape.

Cultural Sustainability: Through art, rural development is supported, depopulated villages are revitalized, and local culture is made more visible and valued.

Japonya – Echigo-Tsumari Art Triennale

		
URL 7.	URL 7.	URL 7.

The selected examples clearly reveal the potential of spaces where art and landscape are considered together to establish emotional, physical, and cultural connections with users (Altıok, 2006). These spaces are not only visually striking but also offer participatory, inclusive, and transformative spatial experiences. Moreover, their spatial organization is designed not merely for aesthetic or functional purposes but also to serve cultural sustainability goals such as meaning-making and the transmission of collective memory.

CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS

Urban memory spaces situated at the intersection of art and landscape align with one of the most pressing needs of contemporary cities: the creation of meaningful, sustainable, and participatory public spaces. Theoretical investigations and case study analyses demonstrate that such spaces function not merely as aesthetic arrangements or visual memory markers but also as carriers of social memory, representations of cultural identity, and spatial embodiments of collective emotion.

Examples such as the Yedikule Gardens in Istanbul and the Keçi Burcu area in Diyarbakır, as well as international initiatives like the Berlin Holocaust Memorial, New York's High Line, and the Echigo-Tsumari Art Triennale in Japan, all show that the integration of art and landscape is directly related to multilayered meaning-making, public participation, spatial healing, and social resilience.

These spaces offer users not only an aesthetic experience but also the opportunity to reflect, remember, confront, and foster a sense of belonging. Projects where artistic production and landscape design are conceived together transform spaces from static entities into evolving, living structures—contributing significantly to cultural sustainability.

Especially in contemporary cities facing rapid urbanization, placelessness, environmental crises, and social polarization, memory spaces rooted in art and landscape function as "spatial sanctuaries" for urban dwellers, offering powerful tools for social cohesion and environmental awareness.

Based on these findings, the following recommendations are proposed:

Participatory Design Processes Should Be Encouraged: Projects that integrate art and landscape should ensure the active participation of users in the design process, reflecting the memory, values, and everyday experiences of the local community.

They Should Be Integrated into Urban Regeneration Projects: In urban renewal areas, not only physical infrastructure but also social memory and identity should be considered. Artistic landscape interventions can help create new spaces of social consensus.

Temporary and Transformative Art-Landscape Interventions Should Be Supported: Environmentally sensitive, temporary art installations using ecological materials can raise awareness while creating dynamic, living spaces.

Collaborations Between Artists and Landscape Architects Should Be Expanded: Interdisciplinary programs—such as artist residencies and university-public sector collaborations—can facilitate the creation of permanent and sustainable spatial narratives.

Memory Spaces Should Be Used for Education and Awareness: These spaces should serve not only as venues for art observation or relaxation but also be supported with educational programs, guided tours, and workshops on history, culture, and the environment.

A Balance Between Local and Global Memory Should Be Maintained: In the construction of spatial narratives, both local memory and global themes (peace, environment, human rights) should be considered in a balanced manner, enabling the space to carry universal meanings.

They Should Be Integrated into Policy Documents and Urban Plans: Cultural landscapes and art-based public spaces should be addressed as distinct categories in urban planning documents, with dedicated funding and support mechanisms developed accordingly.

REFERENCES

Altıok, M. (2006). Mekânın estetik deneyimi ve anlam üretimi: Kamusal sanatın katkısı üzerine. Sanat Yazıları, 11, 9–24.

Assmann, J. (2011). Kültürel bellek: Eski yüksek kültürlerde yazı, hatırlama ve politik kimlik (A. Tekin, Çev.). Ayrıntı Yayınları.

Çıkış, S. (2005). Sanat ve peyzaj mimarlığı ilişkisi. İTÜ Dergisi / A: Mimarlık, Planlama, Tasarım, 4(2–3), 77–88.

Erkılıç, M. (2008). Kentsel bellek: Kavramsal çerçeve ve Türkiye üzerine bazı düşünceler. Planlama, 2008(2), 23–33.

Kuban, D. (2000). Kent ve mimarlık üzerine denemeler. Yapı Kredi Yayınları.

Özdemir, Y. (2019). Kentsel açık alanlarda sanat yapıtlarının kullanımı: Kayseri örneği. Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Elektronik Dergisi, 10(3), 881–902.

Öztürk, D. (2013). Kentsel mekânda kamusal sanatın yeri: Ankara örneği. Sanat & Tasarım Dergisi, 10, 33–45.

Rendell, J. (2006). Art and architecture: A place between. IB Tauris.

Şahin Güçhan, N. (2007). Kentsel bellek ve kültürel süreklilik: Yer ve kimlik ilişkisi üzerine. ODTÜ Mimarlık Fakültesi Dergisi, 24(1), 1–22.

Tanyeli, U. (2011). Mimarlığın aktörleri, modernleşme ve kimlik. Garanti Galeri.

URL 1. https://arboretum.harvard.edu/events/make-nature-art-like-andy-goldsworthy/

URL 2. https://www.ohiohistory.org/architect-and-artist-maya-lin/

URL 3. https://www.berlin.de/museum/3128015-2926344-ort-der-information-im-denkmal-fuer-die-.html

URL 4. http://www.diyarbakir.gov.tr/keci-burcu

URL 5. https://placesjournal.org/article/above-grade-on-the-high-line/

URL 6. https://arkeofili.com/yenikapi-bostanlari-yikimdan-kurtuldu/

URL 7. https://www.japan.travel/en/spot/287/

Yücel, G. (2016). Sanat ve kentsel peyzaj ilişkisi: Kamusal alanlarda sanatsal müdahaleler. Megaron, 11(1), 39–50. https://doi.org/10.5505/megaron.2016.56388

EXPERIENCING SPACE THROUGH THE SENSES

MEKANI DUYULARLA DENEYİMLEMEK

Habibe ACAR

Prof. Dr., Karadeniz Technical University, Faculty of Forestry, Department of Landscape Architecture
Prof. Dr., Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Trabzon, Turkey
ORCID ID: 0000-0002-8682-0522

Aysel YAVUZ

Assist. Prof. Dr., Karadeniz Technical University, Faculty of Forestry, Department of Landscape Architecture
Dr. Öğr. Üyesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Trabzon, Turkey
ORCID ID: 0000-0001-9425-2054

ABSTRACT

Senses contribute to individuals' understanding, learning, recognition, and orientation of their environment, as well as to the retention of information related to time and space in memory, and the generation of positive or negative emotions and outcomes. Through the senses, the information acquired from the environment can either align with an individual's previous experiences or create new experiences. In this way, existing knowledge is reinforced and/or new learning occurs. For humans, both of these processes are critically important for healthy development throughout life, starting from childhood. In healthy individuals, the senses provide these contributions to human life, while for those with sensory impairments, the significance of the senses takes on a different dimension.

At this point, the research focuses on landscape design application examples that offer users different sensory experiences. The study aims to address the importance and contribution of the senses in the perception and preference of space, and to create a resource for landscape design studies in this field through practical examples. The theoretical framework explains how space is perceived and interpreted through the senses, and its relationship with individuals' spatial preferences, while the application examples provide designers with concrete design alternatives. Ultimately, recommendations are made regarding how the natural and artificial elements of the landscape can support different senses for all user groups, and suggestions for spatial alternatives that incorporate sensory experiences are offered.

Keywords: Experiencing through the senses, Experiencing space, Design for the senses, Landscape design

ÖZET

Duyular, bireylerin çevresini anlamasına, öğrenmesine, tanımasına, yön bulmasına, herhangi bir zamana ilişkin bilgilerin ve mekanın akılda kalmasına, pozitif veya negatif duygular ve kazanımlar oluşturmasına katkı sağlar. Duyular sayesinde çevreden alınan bilgiler bireylerin önceki deneyimleri ile örtüşebilir yada yeni deneyimler oluşturur. Böylece varolan bilginin pekiştirilmesi ve/veya yeni bir öğrenme durumu gerçekleşir. İnsanlar için çocukluktan itibaren tüm yaşamı boyunca sağlıklı gelişimi için her iki durum da son derece önemlidir. Sağlıklı bireylerde duyuların insan yaşamına bu katkılarının yanında bazı duyuları açısından engeli olanlar için ise duyuların anlamı daha da farklıdır.

Bu noktada araştırma kullanıcılara farklı duyu deneyimleri sunan peyzaj tasarımı uygulama örneklerine odaklanmaktadır. Çalışmada, mekanın algılanması ve tercih edilmesinde duyuların önemi ve katkısına değinmek, konu ile ilgili uygulama örnekleri üzerinden bu konuda yapılacak peyzaj tasarım çalışmaları için kaynak oluşturmak hedeflenmiştir. Kuramsal çerçeve mekanın duyularla nasıl algılandığını, yorumlandığını, bunun kişilerin mekan tercihleri ile ilişkini açıklarken uygulama örnekleri tasarımcıya somut tasarım alternatifleri sunmaktadır. Sonuçta tüm kullanıcı grupları için kapsayıcı tasarım yaklaşımı ile peyzajın doğal ve yapay elemanlarının farklı duyuları nasıl destekleyeceği ve duyusal deneyimleri içeren mekan alternatifleri konularında önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Duyularla deneyim, Mekanı deneyimlemek, Duyular için tasarım, Peyzaj tasarımı.

INTRODUCTION

An individual perceives, recognizes, encodes into memory, and directs their behavior based on their sensory experiences of the environment, which they apprehend through seeing, hearing, touching, tasting, and smelling. In other words, the individual who perceives the environment through their senses initiates action. Simultaneously, during this action, the individual continues to perceive the environment through their senses. Thus, perception and action mutually reinforce each other (Chatterjee, 2006).

The perceptual and physical characteristics of the environment that stimulate the senses enhance people's experiences of space while simultaneously leaving traces in memory. These traces can either encourage new experiences or lead to the conclusion that the experience was not positive. Both situations provide clues about individuals' spatial preferences. This research focuses on the perception and experience of space through the senses in landscape design. Therefore, landscape design practices that offer diverse sensory experiences in public spaces have been evaluated. These practices will contribute to future landscape design projects and implementations by highlighting the importance of sensory experiences and generating design strategies that facilitate such experiences.

Approaches and practices that enhance sensory experiences in design point to sensory design. Sensory design is a design practice aimed at systematically increasing the sensory richness of products, services, and environments in order to stimulate our senses, make experiences feel more immersive, and thereby be perceived as more holistic and meaningful (Şimşek et al., 2022). The landscape, with its natural and artificial elements, offers users various opportunities. The natural elements of the landscape, such as plants, support the senses in several ways: their color and form characteristics stimulate the sense of sight, their texture features engage the sense of touch, the sounds produced by leaves and branches in the wind stimulate the sense of hearing, their fruits and edibility engage the sense of taste, and the scents of flowers and fruits support the sense of smell. Therefore, the use of plant species that offer sensory diversity should also be considered as one of the strategies in planting design. Natural water sources, which are also natural elements of the landscape, such as seas, lakes, and rivers, support the senses of sight, hearing, smell, and touch according to their characteristics and the potential they offer. The water element is also used in various ways within the landscape in artificial forms. Specifically, tactile experiences that allow direct contact with water positively impact psychological well-being. Touching water facilitates stress reduction and relaxation. Additionally, in children's play areas, the use of water as a play material helps children focus, relax, and, in combination with sand, stimulates their creative potential. Materials used in landscapes, whether on the ground, in fixtures, or on vertical surfaces, also support sensory experiences. The texture options on these materials' surfaces stimulate the sense of touch and, since the variety of materials indicates transitions between spaces, they also facilitate the perception of the space, support its encoding in memory, and offer unique solutions. While a space provides sensory experiences through its materials or opportunities for activities, it can be said that the combination of all the elements within the space also creates an atmosphere that offers distinct perceptual experiences. For example, being in a natural setting, such as a forest or your garden, can evoke multiple sensory experiences, triggering different sensations. In this context, the concept of "synesthesia" emerges. Synesthesia refers to the phenomenon where the stimulation of one sensory modality leads to a perception in another, and it is also referred to as "combined sensation." In architectural space, synesthesia involves the stimulation of different senses, which alters the user's perception of the space. This perceptual experience may vary depending on an individual's previous experiences. Multisensory approaches are noted to positively support users' social, cognitive, and emotional development. In multisensory design, the stimulation of different senses creates mental and physical awareness (Şimşek et al., 2022).

From a spatial perspective, environments that incorporate multiple senses are referred to as "urban sensory spaces" (sensescape). These spaces encompass various sensory elements and experiences, including visual, auditory, tactile, olfactory, and gustatory dimensions. Porteous (1985), in his definition of "sensory spaces", focused on individuals' relationships with spaces

and their physical surroundings. This concept highlights how different senses are perceived and experienced within a spatial context. Rodaway (1994), emphasizing the importance of multisensory experiences, focused on how each sense manifests within a spatial context (Emir Işık & Ayataç, 2023). Roehr et al. (2021), in their research, employed the "sensewalk mapping" method to explore multisensory perception experiences. They evaluated areas within Chinese gardens based on sensory types such as soundscape, smellscape, and touchscape.

Sensory experience is different for each individual. This is because the information received from the environment through the senses may overlap with an individual's previous experiences or create new ones. These differing experiences generate distinct perspectives and, consequently, unique sensory experiences. Perception is a prerequisite for all of these experiences. Perception can be described as the process of receiving information from the environment through our senses, followed by its processing and interpretation in the brain.

Today, digital applications that offer users different sensory experiences are also prevalent due to technological advancements. These applications include animation, short films, 3D video mapping, installation art, experience design, audiovisual performances, and similar works. The various spatial experience alternatives provided by these applications are also utilized in landscape design. In addition to technologies that use the entire space or a surface, those that add movement to the space, allow users to enter and experience the space in virtual environments, and offer the opportunity to perceive the space as a dynamic form, influence the perception of the space (Şimşek et al., 2022).

In healthy individuals, the senses and sensory experiences contribute to human life, while for those with sensory impairments, the meaning of the senses is quite different. A review of the literature reveals that the topic of experiencing space through sensory perception has also been addressed in research related to people with disabilities (Özgür & Eşbah, 2023; Nasir et al., 2021; Landezine, 2019). This is because sensory experiences are extremely important for individuals with disabilities. Those with impairments in one sense are required to rely more actively on their other senses to perceive the environment and find their way. For instance, it is known that individuals with visual impairments face difficulties in perceiving and experiencing a space when tactile, auditory, olfactory, and gustatory references are absent or insufficient (Özgür & Eşbah, 2023). Therefore, spaces must possess qualities that enable sensory experiences. In this way, the independent mobility of individuals with disabilities within a space can be supported, which also fosters positive motivation and self-confidence.

Sensory elements also play a crucial role in the multidimensional experience of individuals within therapeutic (healing) environments. For example, soundscapes influence people's environmental sound preferences and perceptions. The scent alternatives in a space become significant in enhancing expectations and imagination related to therapeutic interactions with the environment. These immersive nature experiences are profound, contribute to various

aspects of well-being, and establish a deeper connection with the surroundings. Abu Bakar and Aziz (2024), by reviewing studies on therapeutic landscapes that support sensory experiences, have categorized the contributions of these environments to users under four main headings. These are: Physical health (*Physical well-being health, Recovery & Restorative qualities, Behavioral management, Interactive & Aesthetic pleasure, Maximized accessibility*), Psychological health (*Emotional feelings, Mental health, Personal symbolic dimension, Peace & Spiritual balance*), Sociability interaction (*Social communication, Sense of community*), Socio-ecological relationship (*Ecological awareness, Sanitary & Hygienic*).

Experience through vision: Vision is considered the primary sensory organ for obtaining information from the environment, and the visual process is a dominant element in spatial experiences (Şimşek et al., 2022). It is noted that 60% of the information individuals obtain from the environment is acquired through visual perception (Özgür & Eşbah, 2023).

Experience through smell: Smell, when it reaches the olfactory center in the brain, evokes memories of previous experiences associated with that particular scent. Scent distinguishes one space from another (Özgür & Eşbah, 2023). The most lasting memory of both open and enclosed spaces is their scent, and each space has a distinct, characteristic odor that provides information about the space (Şimşek et al., 2022). Smell gives identity to a space while establishing a connection between the space and the individual. It is also influential in experiencing the space and architecture (Özgür & Eşbah, 2023). Therefore, considering the factor of scent, which is a significant concept in spatial perception, in design will contribute to the space's perception, meaning (Şimşek et al., 2022), uniqueness, and its place in memory. It is also known that scent experiences have therapeutic effects. Exposure to calming scents can positively affect an individual's mental health, leading to reduced stress and improved mood (Abu Bakar & Aziz, 2024).

Experience through touch: Tactile landscape can be defined as the perception of the values of a landscape through touch (Özgür & Eşbah, 2023). While vision is the sensory modality that provides the most data from a space at first glance, touch is also quite important for spatial experience. In fact, when combined with vision, touch supports the multifaceted perception of the space and objects. Touch is not only experienced through the hands but can also be felt as passive tactile perception, such as the sensation of wind, air flow and changes, or transitions from sunlight to shade (Özgür & Eşbah, 2023; Şimşek et al., 2022). Additionally, contact with hanging branches and/or plants further supports passive touch (Özgür & Eşbah, 2023). Through touch, one also perceives material texture differences, temperature (hot-cold), distance (far-near), weight (light-heavy), hardness-softness, moisture-dryness, and other such properties, leading to the formation of a memory related to these sensations.

Experience through hearing: The sense of hearing, unlike vision, is not a single-focus but a multi-focus phenomenon (Şimşek et al., 2022). Vision is merely the sense of the observer,

whereas hearing creates a sense of connection and solidarity (Pallasmaa, 2018). In spaces surrounded by structures and/or boundaries and various boundary elements, acoustics is an important variable. Sounds also provide clues regarding the identity and function of a space (Şimşek et al., 2022). Landscape areas that include sound experiences, or soundscapes, are acoustic environments perceived by people, characterized by the interaction and actions of natural and human factors. By understanding user perception and preferences, designers can create spaces that are aesthetically pleasing and harmonize with the sounds of urban life (Sipzner, 2024).

When evaluating the positive aspects that sound adds to a space in design, preventing unwanted noise is also a key topic addressed in auditory solutions (Şimşek et al., 2022). However, in auditory landscape solutions, it is essential to consider not only the components of the space itself but also the sounds coming from events occurring in the surrounding environment (Özgür & Eşbah, 2023). Studies have indicated a positive relationship between auditory and visual stimuli in the environment. For example, when more traffic is visible, the sound environment is likely to be perceived as less pleasant, whereas the presence of water or vegetation contributes to a more enjoyable auditory environment (Sipzner, 2024). The auditory perception of an urban landscape space varies according to the nature of the space, its geometric and typological characteristics (such as its form, dimensions, and boundaries), and the materials used in its creation. Additionally, the abundance of sound sources creates different effects in auditory perception (Özgür & Eşbah, 2023).

The concept of "soundspace" design goes beyond traditional noise control methods by considering the impact of a place’s overall sound environment, along with physical and non-acoustic factors, on perceptions, emotions, and behaviors. In other words, it focuses on how the collective sounds of a place affect how people perceive these sounds, how they influence emotions, and how they shape actions. A well-designed soundscape can reduce stress, enhance concentration, and increase the sense of place. In contrast, unpleasant or disturbing sounds can lead to discomfort and a negative perception of the space (Sipzner, 2024).

Experience through the sense of taste: Physiological data recorded in the mind also involve the role of the sense of taste, alongside other senses (Özgür & Eşbah, 2023). As the second process of perception, any gustatory data recorded in the mind recalls a place with a specific identity, making it perceptible. The flavors known to exist in that space, when considered in relation to the lived experiences associated with the place, transport individuals to previous experiences and times stored in memory (Gezer, 2014). Even if one cannot physically visit the space, the taste recorded in the mind continues to keep the memory of the place alive, as it makes the place more appealing. The phrase "that place has no flavor at all," often used to describe spaces one does not wish to visit, also reflects the relationship established between the taste and scent of the place in the mind and the user (Özgür & Eşbah, 2023; Gezer, 2014).

The aim of the study is to address the importance and contribution of the senses in the perception and preference of spaces, and to provide a foundation for landscape design studies related to this topic through practical examples. In this context, alongside the theoretical framework of the subject, the subsequent section of the research presents application examples with the intention of offering concrete design alternatives to the designer. As a result, recommendations are provided on how the natural and artificial elements of the landscape can support different senses, and on design alternatives that incorporate sensory experiences, all through an inclusive design approach for all user groups.

LANDSCAPE DESIGN APPLICATION EXAMPLES OFFERING DIFFERENT SENSORY EXPERIENCES

In this section of the study, examples of landscape spaces offering either singular or multi-sensory experiences, where multiple senses are supported together, are presented. The examples were derived from sources that include research and project application cases, aiming to provide diversity in sensory experiences. In the discussed examples, it is also explained how the space supports the sensory experience.

- Paley Park in New York was developed as a solution to the issue of unwanted traffic noise within the context of urban design. The void created by the demolition of an existing structure in the area was transformed into a small public park. Every detail of the park was designed to reduce urban noise and create a peaceful space in the midst of city life (Şimşek et al., 2022). Located in Manhattan, the park is also known for its iconic water wall (Sipzner, 2024) and is considered a pocket park (Figure 1).



Figure 1. Paley Park, Manhattan, New York (Şimşek ve ark., 2022; Sipzner, 2024).

Sipzner (2024) explains the contributions of the natural elements in the design of Paley Park under three main headings and fourteen subheadings (Figure 2). These are: Nature in the space (*Visual connection with nature, Non-Visual connection with nature, Non-rhytmic sensory stimuli, Access to termal & Airflow variability, Presence of water, Dynamic & Diffuse light, Connection with natural systems*); Natural analogues (*Biomorphic forms & Patterns, Material connection with nature, Complexity & Order*); Nature of the space (*Prospect, Refuge, Mystery, Risk/Peril*). Based on this evaluation, it can be stated that the

natural elements found in a small pocket park are of significant importance for both users and the city, offering various sensory experiences.

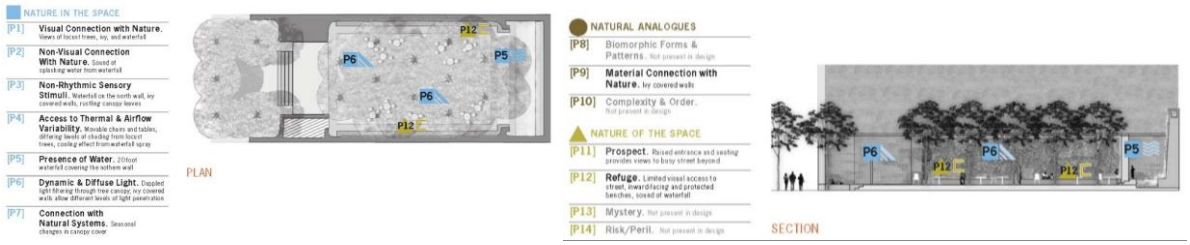


Figure 2. The natural elements in Paley Park and their benefits in the design (Sipzner, 2024).

Supported sensory experiences:

- Vision: Experiencing the landscape by observing its natural and artificial elements.
- Hearing: Experiencing an acoustic environment through the sound of water flowing from the water wall and the effect of the surrounding side parcel walls.
- Touch: Feeling and experiencing the space by touching water, plants, and other structural elements.

- "Optic" is an interactive musical installation that provides new perspectives on the daily environment in Manhattan, reflecting our ability to engage with our surroundings. As users rotate each unit, they create their own infinite cascades of color. The experience is elevated to another level with the rhythmic accompaniment of sound, transforming each unit into a different musical instrument (Figure 3) (URL1, 2025; Sipzner, 2024).



Figure 3. The "Optic" musical installation (Sipzner, 2024; URL1, 2025).

Supported sensory experiences:

- Vision: Color and light installation with changing visual effects.
- Hearing: Sounds produced by the rotation of the rings.
- Touch: Rotating the rings by touch.
- Multisensory experience: The sounds of musical instruments that users hear, depending on their interaction with the rings, provide a unique experience for each user. The simultaneous experience of vision, hearing, and touch on a single installation also supports the multisensory experience.

- The Sonsbeek Pavilion is one of the examples offering a multisensory experience. In this space, divided by walls displaying various artworks, each user has created their own unique

route to perceive the artworks and the space, thereby enriching their spatial experience by developing a personalized path (Figure 4) (Şimşek et al., 2022).

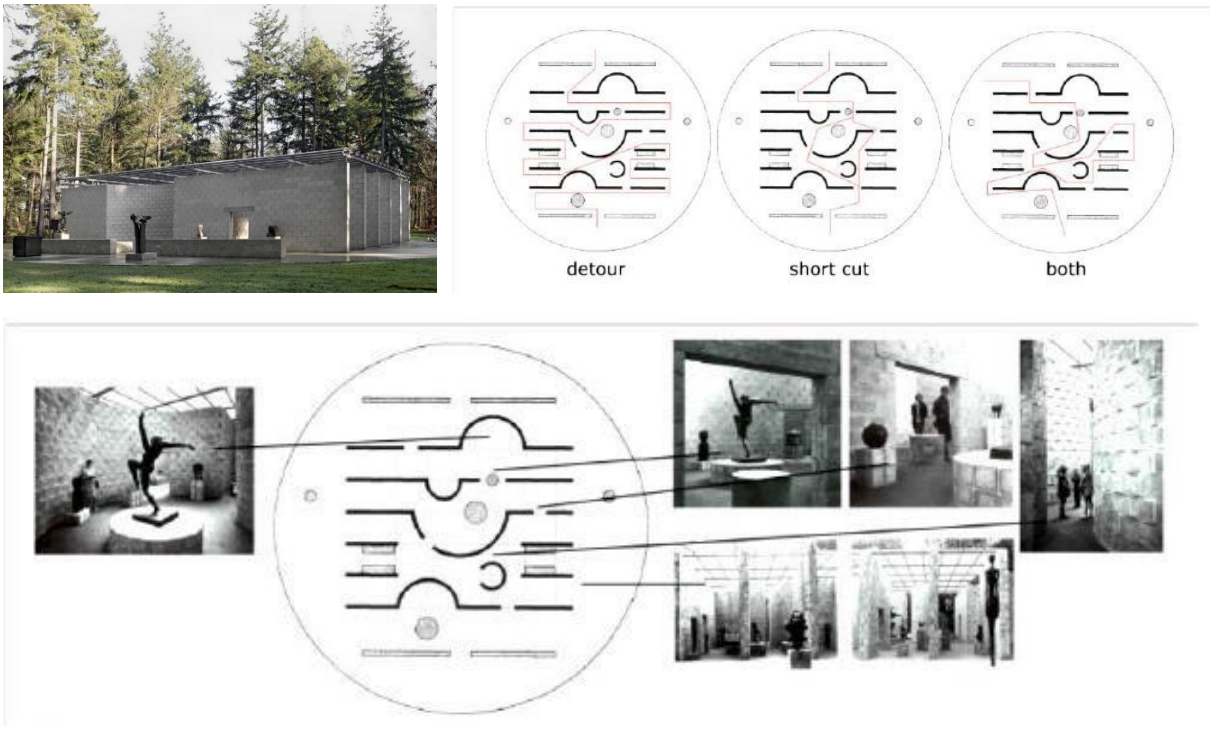


Figure 4. The Sonsbeek Pavilion (Şimşek et al., 2022).

Supported sensory experiences:

- Vision: The visual effects of the sculptures displayed between the walls inside the pavilion.
- Multisensory experience: In the exhibition space divided by walls, each user's experience of creating their own unique route to view the sculptures at different points combines with the visual experience, thereby supporting the multisensory experience.

- In 2019, 2020, 2021, and 2022, various Van Gogh exhibitions were held around the world. The Van Gogh Starry Night exhibition, which took place in France in 2019, aimed to offer visitors a multisensory experience through digital methods (Şen Atiker, 2024). Vincent van Gogh's life was presented as an immersive experience at L'Atelier des Lumières, Paris's first digital art museum. In the city's bohemian 11th district, an unused foundry was transformed using art and music technology, displaying hundreds of the artist's paintings. Visitors embarked on a 35 minute journey through the artworks. Large paint splashes were scattered across the walls, floors, and ceilings, turning the foundry's empty spaces into a vibrant, colorful environment. Contemporary music pieces accompanied this display (Figure 5) (URL 2, 2025).



Figure 5. The Van Gogh Starry Night exhibition, which opened in France in 2019 (URL2, 2025).

Supported sensory experiences:

- Vision: Experiencing the displayed artworks by seeing them on the walls and floors.
- Hearing: Auditory experience through the music in the space, corresponding to the content of the artworks.
- Multisensory experience: The opportunity to experience the spirit, content, and time of the exhibited artwork through the combined experience of vision and hearing.

- Dinu Roman Szabo and colleagues (2023) aimed to use sensory experiences for therapeutic purposes in their research. In this context, they proposed a sensory-therapeutic garden design based on fundamental principles, utilizing literature findings. The project was developed for an open space at a healthcare center in Cluj-Napoca, Romania. The project process consisted of three stages: literature research, studies related to the site, and the development of the design. The first stage involved research on the effects of garden spaces on health, user experiences, and project examples related to this subject. The second stage included a site survey, particularly the evaluation of acoustic data. The third stage consisted of functional zoning of the study area based on literature findings, sound-related assessments, 3D works, and design proposals. Notably, in the design decisions for the project area, the therapeutic effects of plant materials that support sensory experiences from different perspectives are emphasized in areas such as aromatherapy, occupational therapy, edible and medicinal plants, sound therapy, sound barrier, and hypoallergenic areas (Figure 6).

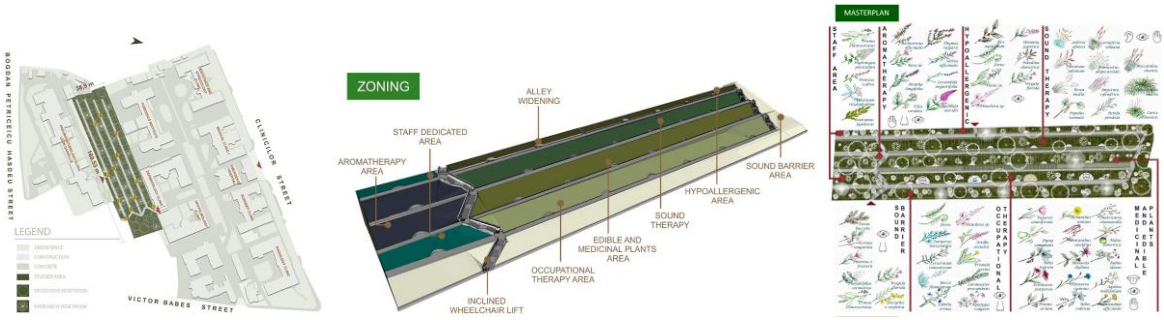


Figure 6. The proposed sensory-therapeutic garden design developed for a healthcare center in Cluj-Napoca, Romania (Dinu Roman Szabo et al., 2023).

Supported sensory experiences:

- Vision: The visual experience based on the diversity of plant species used in the project.
- Hearing: Auditory experience, particularly with the sound therapy area.
- Taste: The tasting experience provided by the presence of edible plant species.
- Smell: The olfactory experience influenced by the scents of the plants present in the project.
- Touch: The tactile experience offered by plant species with different textures, particularly through their leaves and flowers.
- Multisensory experience: The opportunity for a multisensory experience through the combination of all sensory experiences, encouraging individuals to use spaces that provide different sensory experiences for their therapy and allowing for the exploration of various paths within the area.

- One of the significant applications in the field of landscape architecture, the High Line in New York offers visitors different experiences along with seasonal changes. Particularly, the diversity of plant material provides various sensory experiences at different times of the year, while the different pathways within the area offer users new discoveries, as well as relaxing and revitalizing breaks (Figure 7) (Ebbensgaard, 2017).



Figure 7. Views of the High Line (New York, USA) in different seasons (Ebbensgaard, 2017).

Supported sensory experiences:

- Vision: The visual experience created by the landscapes formed by the natural element of plants and the city's texture, particularly with the seasonal effects of plant material.
- Hearing: The auditory experience resulting from the interaction of plant material with the wind and the other sounds of the city.
- Smell: The olfactory experience associated with the aromatic properties of plant material.
- Touch: The tactile experience offered by the diversity of textures provided by both structural and plant materials.
- Multisensory experience: The opportunity for a multisensory experience through the combination of all sensory experiences, along with the seasonal diversity and weather phenomena provided by the city's structural texture and plant material.

• Edible gardens are applications that particularly support the sense of taste among sensory experiences. These spaces also stand out as areas for urban agriculture and horticultural therapy. Additionally, they highlight the therapeutic aspects of sensory experiences. For this purpose, Nasir and colleagues (2021) conducted a research project focused on horticultural therapy, designing an edible garden specifically for individuals with mental health issues, the elderly, and disabled persons as part of a psychosocial rehabilitation program at a clinic in Malaysia. The project was proposed as an alternative therapy to accelerate the healing process, incorporating self-expression, sensory stimulation, social interaction, and the application of fine and gross motor skills, including eye-hand coordination. Another example is "The Farm for the City" project, part of the 2021 Professional Award Category Honor Awards by the American Society of Landscape Architects (ASLA), which was implemented as a pop-up project at Thomas Paine Plaza in Philadelphia. The farm is significant as an example of how an empty lot or vacant urban space can be temporarily transformed into a lush garden or green space that benefits the neighborhood and the city as a whole (ASLA, 2021). In addition to the ecological benefits it provides to the city and users, the project also offers important opportunities for sensory experiences (Figure 8).



Figure 8. ASLA 2021 Professional Award Category Honor Awards "The Farm for the City" (ASLA, 2021).

Supported sensory experiences:

- Vision: The visual experience provided by the diversity of plant material in conjunction with the buildings and other structures in the project area.

- Taste: The tasting experience with the edible plants in the project.
- Smell: The olfactory experience associated with the aromatic properties of the plant material.
- Touch: The tactile experience offered by the diversity of textures provided by both structural and plant materials.
- Multisensory experience: The opportunity for a multisensory experience through the combination of all sensory experiences, along with the seasonal diversity and weather phenomena provided by the city's structural texture and plant material.

- The Magneten Sensory Garden is designed on an elevated platform above a parking lot, specifically for individuals with special needs. The garden, which occupies a small footprint, offers carefully crafted sensory experiences tailored to the needs of its users. This is because the project needed to incorporate a variety of nature experiences that would activate all the senses. The garden area, aiming to stimulate the senses, is divided into three sections: a vegetable garden, a festive fire garden, and a flower garden (Figure 9) (Landezine, 2019).

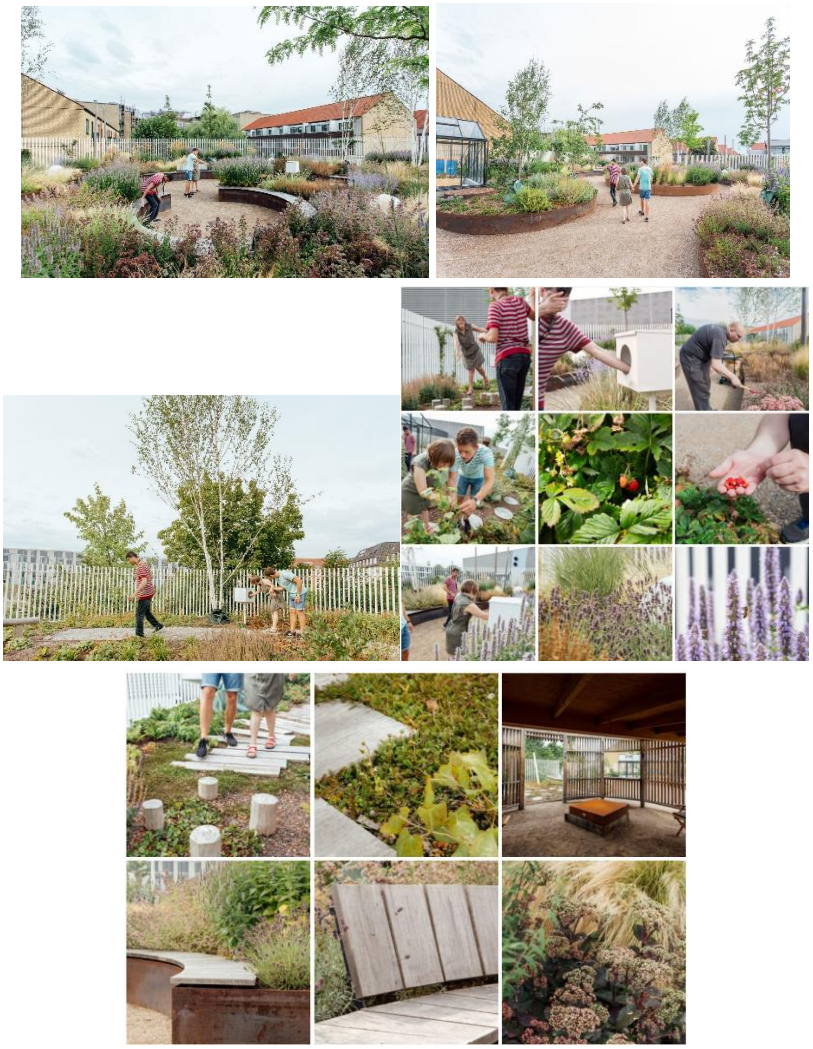


Figure 9. Magneten Sensory Garden, Copenhagen, Denmark (Landezine, 2019).

Supported sensory experiences:

- Vision: The visual experience based on the diversity of plant species used in the project.
- Hearing: The auditory experience influenced by the characteristics of plant material and the effects of weather events.
- Taste: The tasting experience provided by the presence of edible plant species.
- Smell: The olfactory experience created by the scent of the plants present in the project.
- Touch: The tactile experience offered by species with different textures, particularly through their leaves and flowers, as well as the impact of structural materials used in the ground and fixtures.
- Multisensory experience: The opportunity for a multisensory experience through the combination of all sensory experiences, encouraging individuals to use spaces that provide different sensory experiences for their therapy and allowing for the exploration of various paths within the area.

In addition to the ten examples discussed in this section regarding spatial solutions that incorporate sensory experiences, many other examples can certainly be provided. In fact, due to the designers' approaches to the topic and their creative design ideas, it is possible to generate countless unique solutions. However, the aim here is to emphasize the importance of perceiving space through the senses, highlight the significance of making design decisions in this regard during the landscape design process, and illustrate how this perspective can be translated into practice, as demonstrated in the limited examples mentioned.

CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

Open spaces, referred to by names such as sensory gardens or multisensory environments, which offer different sensory experiences, contribute to users' physical and psychological health, as well as their ability to interact socially with their surroundings and other individuals. These spaces provide therapeutic, healing, stimulating, educational, and curiosity-inspiring environments. When viewed holistically, the sensory experiences of vision, hearing, smell, taste, and touch, as well as the multisensory experiences that occur when they are simultaneously experienced, contribute to the perception of a space, the navigation within it, and its place in memory. When considered on a single sensory level, the smell of a space gives it an identity, adds unique value, and has a therapeutic effect by helping to reduce stress (Abu Bakar & Aziz, 2024; Özgür & Eşbah, 2023; Şimşek et al., 2022). Passive touch experiences, such as air flow and changes, influence individuals' psychological health, while direct touch experiences provide information about the texture properties of natural or artificial materials in the landscape and also contribute to spatial orientation and definition, especially for individuals with limited vision. Auditory landscapes, which actively engage the sense of hearing, help create an acoustic effect within the space while also blocking unwanted external sounds. The proper use of sound in a space contributes to reducing stress, increasing concentration, and enhancing a sense of place (Sipzner, 2024). Furthermore, for individuals with limited vision, the sounds within the space provide information about their location and

the surrounding events. The gustatory experience of a space contributes to its identity and its place in memory (Gezer, 2014). When this experience is supported by food-growing environments, it addresses food needs while simultaneously offering educational and informative environmental experiences. The use of sensory experiences in open spaces, with their rehabilitative and therapeutic properties, is also highly important. Today, sensory experiences are increasingly being implemented through digital applications, which add flexibility, diversity, and originality to designs.

When evaluating applications related to sensory experiences in spatial solutions, it is possible to design environments for single or multiple sensory experiences by using the natural and artificial elements of the landscape either separately or together. What is important is to consider which characteristics of these natural or artificial elements will support which experiences, based on the essence of the space and the expectations of the users, and to create options accordingly. From this perspective, it is possible to generate unlimited spatial solutions depending on the designer's unique approaches.

In conclusion, the role of sensory experiences in the perception, use, memory, and subsequent desire to revisit a space is of utmost importance. Particularly, the positive experiences of users, whether their own or those of others, contribute to their preference for a space. Therefore, it should not be forgotten that the sensory factor is a key aspect that must be considered when developing design strategies in landscape design.

REFERENCES

Abu Bakar, N.A., & Aziz, N.F. (2024). Perspectives of sensory goals in therapeutic landscape: a review. Malaysian Journal of Sustainable Environment (MySE), 11(2), 175-192.

ASLA, 2021, https://www.asla.org/2021awards/2693.html (Erişim tarihi: 04.04.2025).

Chatterjee, S., (2006). Children's Friendship with place: An exploration of environmental child friendliness of children's environments in cities, Doctor of Philosophy, Graduate Faculty of North Carolina State University, Raleigh.

Dinu Roman Szabo, M., Dumitras, A., Mircea, D.M., Doroftei, D., Sestras, P., Boscaiu, M., Brzuszek, R.F. & Sestras, A.F. (2023). Touch, feel, heal. The use of hospital green spaces and landscape as sensory-therapeutic gardens: a case study in a university clinic. Frontiers in Psychology, 14, 1201030.

Ebbensgaard, C.L. (2017). 'I like the sound of falling water, it's calming': Engineering sensory experiences through landscape architecture. Cultural Geographies, 24 (3), 441-455.

Emir Işık, G. ve Ayataç, H., 2023. Beş Duyuda Mekânsal Algı Deneyimleri İstanbul Örneği, *Engelli ve Mekân Konusuna Multidisipliner Bakış Açısı*, Editör: Yıldız, A., DAKAM Yayınları, İstanbul, 71-83.

Gezer, H. (2014). Mimariyi yaşamak. İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Yıl: 13, Sayı: 26, 227-258.

https://pubs.aip.org/aip/acp/article-abstract/2347/1/020302/611306/Horticulture-therapy-through-edible-garden-project (Erişim tarihi: 04.04.2025).

Landezine, (2019). Magneten Sensory Garden, https://landezine.com/magneten-sensory-garden-by-masu-planning/ (Erişim tarihi: 04.04.2025).

Nasir, M.R.M., Salleh, I.H., Sham, M.S.A., Mohamad, W.S.N.W., Hassan, K., Hassan, R. (2021). Horticulture therapy through edible garden Project. AIP Conf. Proc., Volume 2347, Issue 1, 020302.

Özgür, D. & Eşbah, H., 2023. Görme Engelli Bireylerle Bir Peyzaj Mekânı Algısı, *Engelli Ve Mekân Konusuna Multidisipliner Bakış Açısı*, Editör: Yıldız, A., DAKAM Yayınları, İstanbul, 14-27.

Pallasmaa, J., (2018). Tenin Gözleri: Mimarlık ve Duyular, 4. Baskı, YEM Yayın, İstanbul.

Roehr, D., Feiyu W. & Bailey, S., (2021). "Sensewalk Mapping" as a method for teaching multi-sensorial landscape perception. Landscape Architecture, 28(10), 96-106.

Sipzner, B. (2024). Beyond the Visual: The Impacts of Urban Soundscapes on Landscape Design and User Experience, Master of Landscape Architecture The University of Texas At Arlington.

Şen Atiker, E., 2024. Sergileme tasarımında çoklu duyusal deneyimler: Van Gogh The Immersive Experience sergisi, Sinop Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 8 (1), 209-228.

Şimşek, O., Balkan, S.A. & Koca, A., 2022. The concept of synesthesia (multisensory perception) in spatial experience and investigation of its change with technology. Journal of Architectural Sciences and Applications, 7 (Special Issue), 40-59.

URL1, 2025. https://sergemaheu.com/?portfolio=optik-2022 (Erişim tarihi: 27.03.2025).

URL2, 2025. https://www.theguardian.com/travel/gallery/2019/mar/04/immersive-vincent-van-gogh-show-opens-paris-digital-art (Erişim tarihi: 31.03.2025).

OPEN SPACE DESIGNS PROMOTING PHYSICAL ACTIVITY: LANDSCAPE ARCHITECTURE APPROACHES FOR HEALTHY CITIES

FIZIKSEL AKTIVITEYI TEŞVIK EDEN AÇIK ALAN TASARIMLARI: SAĞLIKLI KENTLER İÇIN PEYZAJ MIMARLIĞI YAKLAŞIMLARI

Aysel YAVUZ
Assistant Professor Dr., Karadeniz Technical University, Department of Landscape Architecture, Trabzon,
ORCID ID: 0000-0001-9425-2054

Habibe ACAR
Prof. Dr., Karadeniz Technical University, Department of Landscape Architecture, Trabzon, Turkey,
ORCID ID: 0000-0002-8682-0522

ABSTRACT

In modern urban life, physical activity is progressively declining. Urbanization, technological advancements, and sedentary lifestyles have reduced individuals' levels of physical movement, contributing to a rise in chronic conditions such as obesity, heart disease, and diabetes. In contrast, public open spaces possess significant potential to encourage participation in physical activity. Public areas such as parks, green spaces, playgrounds, and recreational zones are among the fundamental elements that support and promote physical movement among people. Open space designs play a critical role in enhancing urban life quality by fostering physical activity. Numerous studies conducted in recent years have examined the impact of these spaces on physical activity. Despite the well-documented benefits of physical activity on physical, social, and mental health, research indicates that the quality, size, and amenities of public spaces exhibit complex relationships with physical activity levels. Physical inactivity is increasing globally, and this issue has become a pressing concern that requires systematic attention on a worldwide scale.

This article aims to explore the relationship between public open spaces and physical activity within a conceptual framework, summarizing existing research on the topic. To effectively design, manage, and plan urban open spaces, it is essential to understand how and why communities interact with these environments. Therefore, the factors influencing individuals' choices of parks and recreational areas will be examined. Drawing on successful examples, the article will propose open space design strategies for landscape architecture to foster healthier and more active cities.

Keywords: Landscape Architecture, Physical Activity, Culture, Design Principles

ÖZET

Modern kent yaşamında fiziksel aktivite giderek azalmaktadır. Kentleşme, teknolojik ilerlemeler ve hareketsiz yaşam biçimleri, bireylerin hareket etme düzeyini düşürerek obezite, kalp hastalıkları ve diyabet gibi kronik rahatsızlıkların artışına yol açmaktadır. Buna karşın, kamusal açık alanlar fiziksel aktiviteye katılımı teşvik etme potansiyeline sahiptir. Parklar, yeşil alanlar, oyun alanları ve rekreasyon bölgeleri gibi kamusal alanlar, insanların hareket etmesini destekleyen temel unsurlar arasında yer alır. Açık alan tasarımları, fiziksel aktiviteyi teşvik ederek kentsel yaşam kalitesinin artırılmasında önemli rol oynar. Son yıllarda yapılan birçok araştırma, bu alanların fiziksel aktivite üzerindeki etkisini ele almıştır. Araştırmalar, fiziksel, sosyal ve zihinsel sağlık üzerindeki olumlu etkilerine rağmen, kamusal alanların kalitesi, büyüklüğü ve sunduğu imkanlar gibi özelliklerinin fiziksel aktiviteyle karmaşık ilişkiler içinde olduğunu göstermektedir. Dünya genelinde fiziksel hareketsizlik artış göstermekte ve bu durum, küresel boyutta ele alınması gereken bir sorun hâline gelmektedir.

Bu makale, kamusal açık alanlar ile fiziksel aktivite arasındaki ilişkiyi kavramsal bir çerçevede ele alarak, konuya dair mevcut araştırmaları özetlemeyi hedeflemektedir. Kentsel açık alanları etkili bir şekilde tasarlamak, yönetmek ve planlamak için, toplumun bu ortamlarla nasıl ve neden etkileşime girdiğini anlamak gerekmektedir. Bu nedenle, bireylerin park ve rekreasyon alanı seçimlerini etkileyen faktörler incelenecek ve başarılı örneklerden yola çıkarak, sağlıklı kentler oluşturmak için peyzaj mimarlığına yönelik açık alan tasarım stratejileri önerilecektir.

Anahtar Kelimeler: Peyzaj Mimarlığı, Fiziksel Aktivite, Kültür, Tasarım İlkeleri

INTRODUCTION

Physical inactivity is a serious public health problem worldwide (Derose, et all.,2018; Floyd et all., 2008; Zedi & Kayser, 2021; Oyibo et all.,2018). Today, the level of inactivity encountered in many countries is defined as ‘Inactivity pandemic’. This situation is triggered by technological developments, increased personal transport preferences, home delivery applications and working from home (Boldina et all., 2022). Health organisations such as the World Health Organization (WHO) and the British National Health Service (NHS) recommend a programme that includes a variety of activities to stay healthy, including at least 150 minutes of moderate or 75 minutes of vigorous activity programmes spread over a week. In addition, older individuals are advised to perform strength, flexibility and balance exercises (Boldina et all., 2022; Zedi & Kayser, 2021). In our country, the Ministry of Health published a physical activity guide in 2014. There is a comprehensive guide on the types, frequency, difficulty, duration and necessity of physical activity according to age groups (Ministry of Health, 2014). Cohen says, ‘Our culture is built in such a way that moderate to vigorous physical activity is required in a person's leisure time’ (Arnold, 2017). However, people from

different cultures have different outdoor recreation preferences, which affects the spatial distribution in urban areas (Zhai et all., 2018).

Physical activity is an important determinant of health and well-being (Evenson et all., 2019). Physical activity includes various sports branches including basic body movements such as walking, running, jumping, as well as dance, games, exercise and activities during the day (Ulukan, 2020). Transforming physical activity into a lifestyle by making it a habit in daily life is important for both individual and public health (Yıldırım & Bayrak, 2019). The consequences of physical inactivity affect almost all aspects of human health, from obesity and type 2 diabetes due to overweight, loss of muscle strength and joint function, depression, anxiety, colon cancer to cardiovascular diseases (Floyd et all., 2008; Hamilton et all., 2017). It has also been associated with productivity losses in the labour market (Oyibo et all., 2018).

Previous research has shown that environmental factors can influence physical activity rates (Zedi & Kayser, 2021) and that living close to urban parks or other green spaces is linked to increased physical activity levels (Hamilton et all., 2017; Chen et all., 2016). It is also clear that neighbourhood parks, as a component of the urban green space system, have a critical role in promoting physical activity (Wang & Wu, 2020). Research has also shown that exercising in a green environment is more beneficial than doing the same exercise in an indoor environment (Wang & Wu, 2020). Therefore, public open spaces are recognised as essential built environment elements that serve a variety of functions that encourage physical activities, provide a range of important benefits, and improve quality of life (Chen et all., 2016). Furthermore, many recent studies have addressed the relationship between urban parks and stress restoration. In terms of sensory perception, the perceived dimensions of urban parks were discussed, including restorative qualities, tranquillity, space, nature, species richness, refuge, culture, anticipation, social issues, and physical activity level. The focus was on the landscape components of urban green spaces (Wang et all., 2016).

Regular physical activity provides important health benefits for people of all ages, including reduced abdominal obesity (Park & Ewing, 2017). Efforts to increase physical activity are more likely to involve changes that can be made through the design and management of spaces such as parks, school playgrounds and neighbourhood intersections (Floyd et all., 2008). Supporting this, research has shown that park improvements can change park users and physical activity levels. In one example of an improvement, separating walking and jogging trails increased participation of older people, and renovating children's spaces increased family participation. More elderly, women and children were observed in the park and participation in park-oriented physical activity increased (Arifwidodo & Chandrasiri, 2021).

To raise awareness and emphasise the importance of increasing physical activity and preventing disease, a ‘Step it Up!’ call to action was launched in 2015 (DHHS, 2025). This call to action not only encouraged individuals to increase their physical activity, but also urged local governments and communities to design more pedestrian-friendly urban spaces

(Cohen et all, 2017). Therefore, in urban planning and landscape planning studies, the quantity and quality of open spaces in a community are increasingly receiving attention. Open spaces can encourage outdoor activities for residents, which helps reduce stress and provides opportunities that promote relaxation. Urban forests provide multiple health benefits to visitors, including participation in restorative experiences, social interactions and physical activity. Hiking, enjoying nature, reducing stress, having a barbecue/picnic, and meeting family and friends are the most frequently cited motivations by visitors (Zhai et all., 2018). City parks are the only attractive, free (or low-cost) places where people can engage in such activities (Park & Ewing, 2017). In addition to areas that support physical activity such as gyms, swimming pools, skate parks, suitable solutions such as walking routes and trails are produced at appropriate points in the city (Cohen et all, 2017). Large activity areas that encourage social participation such as large grass areas, barbecue areas and entertainment areas that are compatible with group activities are planned. Nature exploration activities are organised in areas with wooded areas to attract users with nature-oriented motivation; for example, a cherry blossom festival or other nature observation events (Zhai et all., 2018). All these efforts are very important as they will provide energy and quality of life by increasing physical activity, and create conscious living and awareness through motivation and social interaction.

Engaging sedentary people in exercise that is incorporated into daily routines requires a stronger motivation. Studies focusing on human behaviour have shown that cityscapes have significant potential to influence people's health. Designing more than opportunities for physical activity in the urban landscape encourages opportunities to interact with people and promotes well-being. Therefore, environmental design principles to improve people's health and well-being are the subject of much research. In this article, the relationship between public open spaces and physical activity and the potential for physical activity are analysed through a case study of Barcelona, focusing on the factors affecting individuals' choices.

Physical Activity and Spatial Characteristics in Urban Environment

Parks have an important role in providing an environment for individuals to be physically active in urban areas as they offer equal opportunities to facilitate physical activity to a wide range of users from different age, ethnocultural and socioeconomic groups (Arifwidodo & Chandrasiri, 2021). Individuals continue their lives with various activities within the urban environment. Barcelona is a city with many opportunities for outdoor physical activity. In addition to different natural areas such as the seashore, parks and hills, the city includes opportunities that appeal to a variety of users with its streets and squares. It harbours a lifestyle that encourages being active outdoors in every corner. Whether it's hiking, jogging by the sea or doing yoga in the park, there are many ways for people to spend their energy outdoors and socialise in this city. It is necessary to evaluate the places and activities that stand out in terms of outdoor activities in Barcelona.

Streets and Squares

Barcelona's streets and squares offer a lively and varied programme of physical activities. With its wide boulevards, pedestrian-friendly areas and historic squares, the city provides a quality environment for those who want to move outdoors. The city's streets and squares offer potential opportunities not only to get from one place to another, but also to lead an active lifestyle. Especially in summer, street artists and performance groups use the city squares as a stage. Squares are frequently used as starting or finishing points for dance events, social gatherings, yoga sessions, outdoor fitness activities, running and cycling races (Table 1).

Table 1. Barcelona city square and its physical activity potential

Physical activities: Music performances, feeding birds, walking, watching	
	Factors affecting participation in physical activity
 	Proximity Accessibility Security Aesthetics Functionality Psychological factors Vitality Presence of natural elements
Space characteristics: Catalunya Square, the city's starting point, focal point, main transport hub, metro station, focus of physical activity with shopping centres in the surrounding area.	

In a city famous for its avenues, La Rambla in particular stands out as a tourist, entertainment and shopping street. There are opportunities to gather for group exercises, watch and interact with street performers, magicians, and live sculptures. Jogging and brisk walks are organised along this axis of Barcelona from the seafront to the square to explore different parts of the city. In addition, cycling races are among the route preferences. The streets, which are known for their iconic buildings that harbour and exhibit art, are places of physical activity (Table 2). In fact, the city harbours the energy that encourages movement at every step.

Table 2. Barcelona streets and physical activity potential

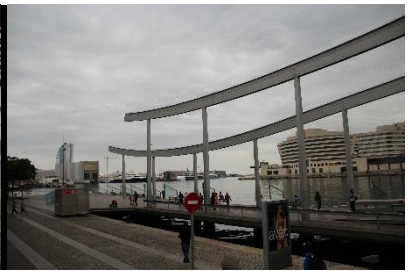
Physical activities: Walking, cycling, skating, scooter	
	Factors affecting participation in physical activity
 	Proximity Accessibility Connectivity Security Aesthetics Functionality Psychological factors Vitality Art Climate

   	Culture Iconic buildings
Space characteristics: Start and end points, tourist routes, artistic interventions.	

Coast and Sea Activities

Barcelona's long coastline offers a favourable route for jogging, walking and cycling. It is one of the favoured destinations for water sports such as morning sports, skateboarding, beach volleyball, swimming and paddleboarding (Table 3). Outdoor fitness equipment and calisthenic parks are also common along the coast. Barcelona is also a bicycle-friendly city. There are extensive cycle lanes throughout the city and a bicycle sharing system called 'Bicing' is available for hire. The coastline and Diagonal Street are known as pleasant routes for cyclists.

Table 3. Barcelona coastal area and physical activity potential

Physical activities:	jogging, walking, skateboarding, cycling, calisthenic exercise
	Factors affecting participation in physical activity
   	Proximity Accessibility Security Aesthetics Functionality Psychological factors Vitality Distance to Motivation Experience Vitality Entertainment
Space characteristics: Sea view, continuity.	

Parks and Green Spaces

Parks such as Park Güell, Ciutadella Park, Diagonal Mar Park and Park Central de Nou Barris offer suitable areas for nature, art and culture, pet walking, nature walks, trekking, yoga and group activities (Table 4). Ciutadella Park is particularly popular for runners and morning exercisers.

Table 4. Physical activity potential of Barcelona parks and green spaces

Physical activities: Walking, cycling, exercising	
	Factors affecting participation in physical activity
   	Proximity Accessibility Security Aesthetics Functionality Psychological factors Distance to Experience Entertainment
Space characteristics: Being in touch with nature, close to schools, in the neighbourhood, daily life.	

The City of Barcelona and Active Living Areas

Ciutadella Park (Parc de la Ciutadella)

It is one of the largest and most important green areas of Barcelona. Located in the centre of the city, this park is an escape for those who want to spend pleasant moments where history, art and nature meet (Table 5). The park includes a natural history museum, a geological museum, a zoo, a winter garden, a greenhouse, walking areas and a lake. The parliament building in the park was formerly used as an armoury. There is an impressive fountain in the park. The magnificent waterfall, the symbol of the park, is a work of Antoni Gaudí's youth. It is decorated with sculptures and mythological figures. Rowing on the lake is one of the most enjoyable activities in the park. The zoo, which attracts the attention of families, is also a perfect stop for a pleasant time. Ciutadella Park, with its history, nature and calm atmosphere, is preferred for outdoor activities such as yoga, jogging, cycling and walking away from the

crowds of the city. From time to time, street artists and musicians perform in the park. On weekends, dancing or different outdoor activities are held. The park offers opportunities for both tourists and locals to relax, play sports and engage in culture.

Table 5. Ciutadella Park physical activity potential

Physical activities: Cycling, walking, brisk walking, jogging, group sports, boating.	
	Factors affecting participation in physical activity
   	▪ Proximity ▪ Location ▪ Park size ▪ Accessibility ▪ Security ▪ Aesthetics ▪ Functionality ▪ Psychological factors ▪ Vitality ▪ Distance to ▪ Motivation ▪ Experience ▪ Entertainment ▪ Education and training policies
Space characteristics: History, nature, art, culture, music.	

Labyrinth Park in Barcelona (Parc del Laberint d'Horta)

It is one of the oldest gardens in the city and a hidden paradise for nature and history lovers. It is located in the Horta district, north of the centre of Barcelona. It was designed in the 18th century by the Italian-born architect Domenico Bagutti as a resting place for a wealthy family. This charming park takes its name from the hedged labyrinth inside. Before entering the park, there is a snack stand, a seating area, a children's playground and sitting benches. The labyrinth is in the centre of the park and it takes about 20 minutes to reach the exit. Visitors have a pleasant adventure while trying to find their way through the labyrinth. Family members can guide their children by standing on the stairs above the labyrinth. The park is also full of romantic gardens, sculptures and water features, making it both a peaceful escape and a unique area for photography enthusiasts. It is an ideal place for those who want to get away from the crowds of Barcelona and take a quiet nature walk (Table 6).

Table 6. Barcelona Labyrinth park and physical activity potential

Physical activities: Walking, nature walks, taking photos	**Factors affecting participation in physical activity**
   	Accessibility Security Aesthetics Functionality Psychological factors Vitality Distance to Experience Entertainment Degree of difficulty Education and training policies Time
Space characteristics: Elements of natural environment, escape point for nature lovers, photography enthusiasts.	

Diagonal Mar

It is one of the most modern and dynamic areas of Barcelona. Located just outside the city centre, close to the seafront and shopping centre, it is characterised by its contemporary architecture and large open spaces (Table 7). It is a famous urban park with large green areas, ponds and interesting sculptures. Thanks to its proximity to the beach, it offers the opportunity to walk to the seaside.

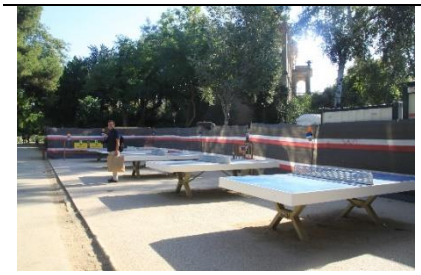
Table 7. Diagonal Mar and its physical activity potential

Physical activities: Walking, swinging	**Factors affecting participation in physical activity**
   	Accessibility Connectivity Security Aesthetics Art Modernism Location Psychological factors Distance to Experience Entertainment Presence of natural elements
Space characteristics: Elements of natural environment, modern touches, structures.	

Barcelona Jardi Botanical Garden

The Barcelona Botanical Garden (Jardí Botànic de Barcelona) is a tranquil and instructive piece of nature with a triangular gridal layout located on Montjuïc Hill (Table 8). The garden exhibits plant species from regions with a Mediterranean climate and offers visitors the opportunity to discover the diversity of plants from around the world. It offers visitors the opportunity to walk among plant collections from different continents. It also provides the opportunity to enjoy the view of Barcelona. It is an ideal place for nature lovers, botanical enthusiasts and those who want to spend time in a quiet environment. In addition, scientific research is carried out in the garden and it contributes to nature conservation projects.

Table 8. Jardi botanical garden physical activity potential

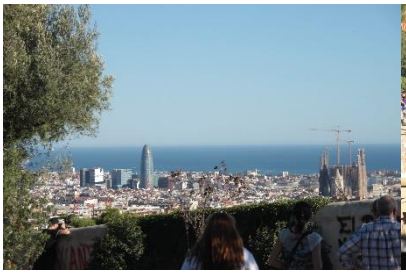
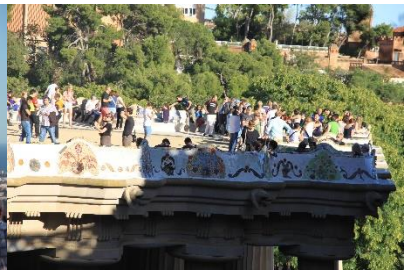
Physical activities: Walking, jogging, rowing, cycling, playing table tennis	
	Factors affecting participation in physical activity
	Proximity
	Location
	Time
	Accessibility
	Security
	Aesthetics
	Functionality
 	Experience
	Psychological factors
	Vitality
	Culture
	Consistency
	Reciprocity
	Intrinsic Motivation
	Park size
	Education and training policies
 	
Space characteristics: Natural environment, landscape elements, calmness.	

Park Güell

It is one of the most fascinating and iconic areas of Barcelona. Designed by the famous Catalan architect Antoni Gaudí, this park combines nature and art in an extraordinary way. Originally planned as a luxury residential project, it was transformed into a public park in 1926 and is now a UNESCO World Heritage Site.

At the entrance to the park is the famous dragon figure 'El Drac', decorated with colourful ceramics. It is followed by the Hypostyle Hall consisting of Doric columns. The 'Serpentine Bench', a wavy bench on the upper floor, is decorated with mosaic art and has become one of the important symbols of the park. From this terrace, you can enjoy a mesmerising view of Barcelona, the Sagrada Familia and the panorama of the city. Gaudí's organic forms, inspired by nature, are evident in every corner of the park. Stone paths, mosaics, natural-looking columns and curving walkways offer a unique experience. This fascinating place, where nature, art and history are intertwined, is a must-visit for all visitors to Barcelona (Table 9).

Table 9. Park Quell physical activity potential

Physical activities: Walking, climbing stairs	
	Factors affecting participation in physical activity
   	Proximity Location Accessibility Security Aesthetics Functionality Reciprocity Panorama Vitality Facilities Art Culture Iconic buildings Socioeconomic contexts
Space characteristics: Antoni Gaudi, nature, art, history, urban panorama.	

CONCLUSIONS

Open space designs that encourage physical activity are critical for creating healthy and liveable cities. This paper contributes to urban landscape practice by evaluating design interventions that increase physical activity and promote human health and well-being in the urban landscape.

There is a need for urban open space landscapes that can encourage people to engage in safe and intrinsically motivated exercise during their daily routine (home and work) walks. Therefore, national physical activity plans should be developed and implemented with the vision that people have the right to live and work in environments that are physically active and encourage regular physical activity. The focus should be on improving and developing existing parks and open spaces and increasing park use and physical activity potential.

Designs should include strategies that make physical activity more exciting such as fun, curiosity, discovery, surprise and learning. It is known that areas that offer the opportunity to contact with nature and experience nature to visitors are the most important motivation. Thus, individuals with socially oriented motivations concentrate around areas with natural elements. In the context of literature researches and the examined city, the reasons that encourage people who come to parks and recreation areas for physical activity to participate in physical activities in these areas are proximity, accessibility, connectivity, location, perception of safety, reciprocity, consistency (general assumptions about walking), sociability, modernism taste, aesthetics, functionality, distance, presence of stairs and ramps, vitality, entertainment, presence of natural elements, degree of difficulty, time, intrinsic motivation, experience, panorama, culture, art, iconic structures, park size, amenities, socioeconomic contexts, climate, education and training policies, psychological factors and personal characteristics. In summary, cities of the future can offer a healthier and more active life with these strategies. For a physical activity-friendly environment, accessible and safe urban infrastructure, details that encourage movement at the individual scale and pleasant spaces integrated with nature are necessary.

REFERENCES

Arifwidodo, S. D., & Chandrasiri, O. (2021). The effects of park improvement on park use and park-based physical activity. *Journal of Architecture and Urbanism*, *45*(1), 73-79.

Arnold, C. (2017). Exercise bargain: are walking loops worth the investment?. *Environmental Health Perspectives*, 125 (2), 40. https://doi.org/10.1289/ehp.125-A40

Boldina, A., Hanel, P. H. P., & Steemers, K. (2022). Active urbanism and choice architecture: encouraging the use of challenging city routes for health and fitness. *Landscape Research*, *48*(3), 276–296. https://doi.org/10.1080/01426397.2022.2142204

Chen, Y., Liu, T., Xie, X., & Marušić, B. G. (2016). What attracts people to visit community open spaces? A case study of the Overseas Chinese Town community in Shenzhen, China. *International journal of environmental research and public health*, *13*(7), 644.

Cohen, D. A., Han, B., Evenson, K. R., Nagel, C., McKenzie, T. L., Marsh, T., ... & Harnik, P. (2017). The prevalence and use of walking loops in neighborhood parks: A national study. *Environmental health perspectives*, *125*(2), 170-174.

Derose, K. P., Han, B., Williamson, S., & Cohen, D. A. (2018). Gender disparities in park use and physical activity among residents of high-poverty neighborhoods in Los Angeles. *Women's Health Issues*, *28*(1), 6-13.

DHHS (U.S. Department of Health and Human Services). 2008. *Physical Activity Guidelines for Americans: Be Active, Healthy, and Happy!*. Washington DC DHHS https://health.gov/paguidelines/pdf/paguide.pdf [accessed 22 March 2025].

Evenson, K. R., Williamson, S., Han, B., McKenzie, T. L., & Cohen, D. A. (2019). United States' neighborhood park use and physical activity over two years: The National Study of Neighborhood Parks. *Preventive medicine*, *123*, 117-122.

Floyd, M. F., Spengler, J. O., Maddock, J. E., Gobster, P. H., & Suau, L. (2008). Environmental and Social Correlates of Physical Activity in Neighborhood Parks: An Observational Study in Tampa and Chicago. *Leisure Sciences*, *30*(4), 360–375. https://doi.org/10.1080/01490400802165156

Hamilton, K., Kaczynski, A. T., Fair, M. L., & Lévesque, L. (2017). Examining the relationship between park neighborhoods, features, cleanliness, and condition with observed weekday park usage and physical activity: A case study. *Journal of environmental and public health*, *2017*(1), 7582402.

Oyibo, K., Orji, R., & Vassileva, J. (2018). Developing culturally relevant design guidelines for encouraging physical activity: a social cognitive theory perspective. *Journal of Healthcare Informatics Research*, *2*(4), 319-352.

Park, K., & Ewing, R. (2017). The usability of unmanned aerial vehicles (UAVs) for measuring park-based physical activity. *Landscape and Urban Planning*, *167*, 157-164.

Sağlık bakanlığı,(2014). *Türkiye Fiziksel Aktivite Rehberi.* https://okulsagligi.meb.gov.tr/meb_iys_dosyalar/2017_01/27102602_TYrkiye_Fiziksel_Aktivite_Rehberi.pdf

Ulukan, M. (2020). Ortaöğretim öğrencilerinin fiziksel aktiviteye katılım motivasyonları ve sürekli umut düzeylerinin incelenmesi. *Akdeniz Spor Bilimleri Dergisi*, *3*(1), 202-218.

Wang, X., Rodiek, S., Wu, C., Chen, Y., & Li, Y. (2016). Stress recovery and restorative effects of viewing different urban park scenes in Shanghai, China. *Urban forestry & urban greening*, *15*, 112-122.

Wang, X., & Wu, C. (2020). An Observational Study of Park Attributes and Physical Activity in Neighborhood Parks of Shanghai, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *17*(6), 2080. https://doi.org/10.3390/ijerph17062080

Yıldırım, M., & Bayrak, C. (2019). Üniversite öğrencilerinin spora dayalı fiziksel aktivitelere katılımları ve yaşam kalitelerinin akademik başarı ve sosyalleşme üzerine etkisi (Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Örneği). *Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, *34*(1), 123-144.

Zedi, M., & Kayser, B. (2021). Lack of Pregraduate Teaching on the Associations between the Built Environment, Physical Activity and Health in Swiss Architecture and Urban Design Degree Programs. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *18*(1), 15. https://doi.org/10.3390/ijerph18010015

Zhai, Y., Baran, P. K., & Wu, C. (2018). Spatial distributions and use patterns of user groups in urban forest parks: An examination utilizing GPS tracker. *Urban forestry & urban greening*, *35*, 32-44.

APPROACHES REFLECTING NATURE IN ZOO EXHIBITION DESIGN

HAYVANAT BAHÇESİ SERGİ TASARIMINDA DOĞAYI YANSITAN YAKLAŞIMLAR

Serap YILMAZ

Prof.Dr., Karadeniz Technical University, Faculty of Forestry, Department of Landscape Architecture, Trabzon, Turkey.

ORCID NO:0000- 0002-0088-3769

Nida KURAK SEZGİN

Res.Asst., Karadeniz Technical University, Faculty of Forestry, Department of Landscape Architecture, Trabzon, Turkey.

ORCID NO: 0000-0001-9825-1913

ABSTRACT

Design is an activity that focuses on creating functional spaces while adding aesthetic value to the environment. Therefore, it requires detailed thinking, data about the area to be designed and user needs should be synthesised together. Spaces where the needs of the users are well designed provide harmony between the users and the space and produce spaces that provide accurate information about the environment. Especially in learning-oriented landscapes such as zoos, it is very important that the environment contains accurate information and that visitors can comprehend it. In order for zoos to be learning-oriented, they need to offer areas that depict nature to two different users. Zoos with these areas are places where animals can exhibit their natural behaviours and visitors can interact with nature. Modern zoo designs aim to increase animal welfare with ecosystem-based approaches, while promoting education and environmental awareness for visitors.

Zoos are organisations that serve two different types of users. Visitors want comfort, entertainment, learning and seeing. However, animals want to be free as in nature; such as hiding and hunting when necessary... It is impossible to give animals the freedom they have in nature in this limited space, but it is possible to make areas that resemble natural habitats. Restricting the freedom of animals in zoos, which reflect their habitats in nature, makes sense and serves its purpose. These creatures, which are separated from their natural habitat, remind people that other creatures have the right to live in this world, raise awareness about natural life and enable them to recognise/learn about animals.

This study focuses on spatial solutions that reflect nature in zoo designs. The change in the design of zoos is evaluated through examples from around the world and the spatial needs of animals and visitors are revealed. As a result, a spatial proposal that offers visitors an impressive observation experience and can be a natural habitat for animals is created.

Keyword: Zoo, Exhibition space, Immersive exhibitions, Nature reflecting design

ÖZET

Tasarım, çevreye estetik bir değer katarken, fonksiyonel mekanlar oluşturmaya odaklanan bir etkinliktir. Dolayısıyla detaylı düşünmeyi gerektirir, tasarlanacak alana ilişkin veriler ve kullanıcı ihtiyaçları birlikte sentezlenmelidir. Kullanıcıların ihtiyaçlarının iyi kurgulandığı mekânlar; kullanıcılar ile mekân arasındaki uyumu sağlar ve çevre hakkında doğru bilgi veren mekanlar üretirler. Özellikle hayvanat bahçesi gibi öğrenme odaklı peyzaj alanlarında çevrenin doğru bilgi içermesi ve ziyaretçilerin bunu kavrayabilmesi oldukça önemlidir. Hayvanat bahçelerinin öğrenme odaklı olabilmesi için iki farklı kullanıcısına da doğayı betimleyen alanlar sunması gerekir. Bu alanlara sahip hayvanat bahçeleri, hayvanların doğal davranışlarını sergileyebileceği ve ziyaretçilerin doğayla etkileşim kurabileceği mekânlar olur. Modern hayvanat bahçesi tasarımları, ekosistem temelli yaklaşımlar ile hayvan refahını artırırken, ziyaretçiler için de eğitim ve çevre bilincini teşvik etmeyi amaçlamaktadır.

Hayvanat bahçeleri birbirinden farklı iki tür kullanıcıya hizmet eden kuruluşlardır. Ziyareçiler konfor, eğlence, öğrenme, görmek ister. Oysaki hayvanlar doğadaki gibi özgür olmak isterler; gerektiğinde saklanmak, avlanmak gibi… hayvanlara doğadaki özgürlüklerini bu sınırlı alanda vermek olanaksızdır ancak doğal habitata benzeyen alanlar yapmak mümkündür. Doğadaki yaşam alanlarını yansıtan hayvanat bahçelerinde hayvanların, özgürlüklerinin kısıtlanması anlamlanır, amacına hizmet eder. Doğal yaşam alanından koparılan bu canlılar, diğer canlıların bu dünyada yaşam hakları olduğunu insanlara hatırlatır, doğal yaşam hakkında bilinçlenmesini ve hayvanları tanımalarını/öğrenmelerini sağlarlar.

Bu çalışma, hayvanat bahçesi tasarımlarında doğayı yansıtan mekânsal çözümler üzerine odaklanmaktadır. Hayvanat bahçelerinin tasarımındaki değişim dünyadaki örnekler üzerinden değerlendirilerek, hayvanların-ziyaretçilerin mekânsal İhtiyaçları ortaya koyulmaktadır. Sonuç olarak, ziyaretçilere etkileyici bir gözlem deneyimi sunan ve hayvanlara doğal yaşam alanı olabilecek mekân önerisi oluşturuldu.

Anahtar kelime: Hayvanat bahçesi, Sergi alanı, Immersive sergiler, Doğayı yansıtan tasarım

INTRODUCTION

Zoos are institutions visited by approximately 700 million people each year. This public access to zoos allows people to learn about important issues such as the protection of biodiversity and sustainable living (Greenwell et al., 2023). London Zoo was established in 1828 for the study and observation of zoology, and this constituted the first step of the zoo institution. Then, in the zoo founded by Carl Hagenbeck in 1907, it was aimed to create exhibition areas depicting the natural habitats of animals and the animals were exhibited in groups depending on their characteristics (Yılmaz and Özbilen, 2011). However, the idea of a modern zoo with a conservation-oriented mission emerged after the Second World War (Greenwell et al., 2023). Until then, zoos focused on “education and entertainment”, but by

the 1980s, zoos began to focus on the protection of endangered species and wildlife. The reason for the change in this period in particular is the Convention on Biological Diversity signed at the Earth Summit in Rio de Janeiro in 1992. This convention aims to protect biological diversity and ensure sustainability for the benefit of future generations, and Article 9 of the convention is clearly related to "ex situ conservation". This refers to the protection of animals outside their natural habitats; in seed banks, botanical gardens and zoos (Keulartz, 2023). Following this development, in 1993, the World Association of Zoos and Aquariums (WAZA) and the International Union for Conservation of Nature (IUCN) launched the World Zoo Conservation Strategy. Thus, zoos undertook a very important mission. Apart from education and entertainment, zoos have become an institution that aims to protect and promote the habitats of creatures under threat of extinction and to raise ecological awareness. In addition, zoos are institutions that encourage people to exhibit nature- and animal-friendly attitudes that are easily accessible. Therefore, zoos have shifted their focus from cognitive learning to emotional learning to increase conservation awareness among their visitors and encourage pro-environment behavior (Routman et al., 2010).

Zoos can provide more effective educational opportunities than institutions such as museums because they house live animals. Zoo animals are considered "ambassadors" so that animals can live freely in nature and their habitats are not damaged (Spooner et al., 2021). These animals, whose freedoms are restricted, enable zoo visitors to learn about wider biodiversity, can help people interact with the natural world with their universal messages, and zoos can encourage empathy between humans and the natural world (Greenwell et al., 2023; Yılmaz and Alpak, 2019). In zoos that reflect their natural habitats, the restriction of animals' freedom becomes meaningful and serves its purpose. These creatures, who are torn from their natural habitats, remind people that other creatures have the right to live in this world, make them aware of natural life and enable them to get to know/learn about animals.

Modern zoos serve the following 4 purposes; research, protection, education, and recreation. Today, zoos are places where these first three purposes are emphasized, while the majority of visitors first visit the zoo for recreation (Yılmaz and Özbilen, 2011). If visitors encounter impressive, inviting, entertaining and educational spaces at the zoo, this will encourage them to visit again. This experience provided by the zoo through entertainment will further strengthen the interest in the zoo's conservation efforts, research, love and care for animals, and their health. When information is obtained about the species in zoos, it is observed that visitors develop more positive feelings towards animals and support conservation efforts (Anderson et al. 2003; Hosey, 2005). Well-thought-out exhibition area design is very important in terms of improving the living conditions of animals in zoos. Modern zoos should be places where animals can exhibit their natural behaviors and where visitors can interact with nature. Modern zoo designs should aim to increase animal welfare with nature-based approaches, meet the needs of animals, and at the same time include solutions that enhance the visitor experience (Yılmaz et al., 2017; Yılmaz and Alpak, 2019; Azevedo et al., 2023).

The design principles of the exhibition areas, which include spatial solutions that include nature-based approaches, are as follows:

The formal characteristics of the exhibition areas;

- Large and natural habitats where animals can move freely,
- Areas that provide species-specific group or individual living spaces and are suitable for social behavior, and
- Areas that provide integration of topography, water features, and natural vegetation.

The features required for exhibition areas to meet the spatial needs of animals; the exhibition areas imitating natural ecosystems ensure that the psychological, physical and cognitive needs of the animals are met.

- Psychological needs: Hiding, exploring, orienting
- Physical needs: Climbing, swimming, hunting
- Cognitive needs: Storing food, gaining new experiences.

Spatial features that enhance the visitor experience of the exhibition areas;

- Natural observation areas: High viewing platforms, glass partitions
- Educational areas: Information boards, interactive exhibitions
- Designs that increase nature awareness: Ecosystem-based spatial organization

Nature-based zoo designs enhance animal welfare while enhancing the educational and sensory experience of visitors. Green infrastructure, ecological exhibits, and nature-inspired design principles should form the basis of modern zoo spatial organization.

RESEARCH and FINDINGS

Zoo designs are areas that require detailed thinking. Data regarding the needs of the animal that will live in the exhibition area to be designed should be synthesized together with the expectations of the visitors. Especially in learning-oriented landscape areas such as zoos, it is very important for the environment to contain accurate information and for visitors to be able to comprehend this. In order for zoos to be learning-oriented, they need to offer areas that depict nature to both animals and visitors. Thus, these well-designed exhibition areas provide harmony between users and the space and produce spaces that provide accurate information about the environment.

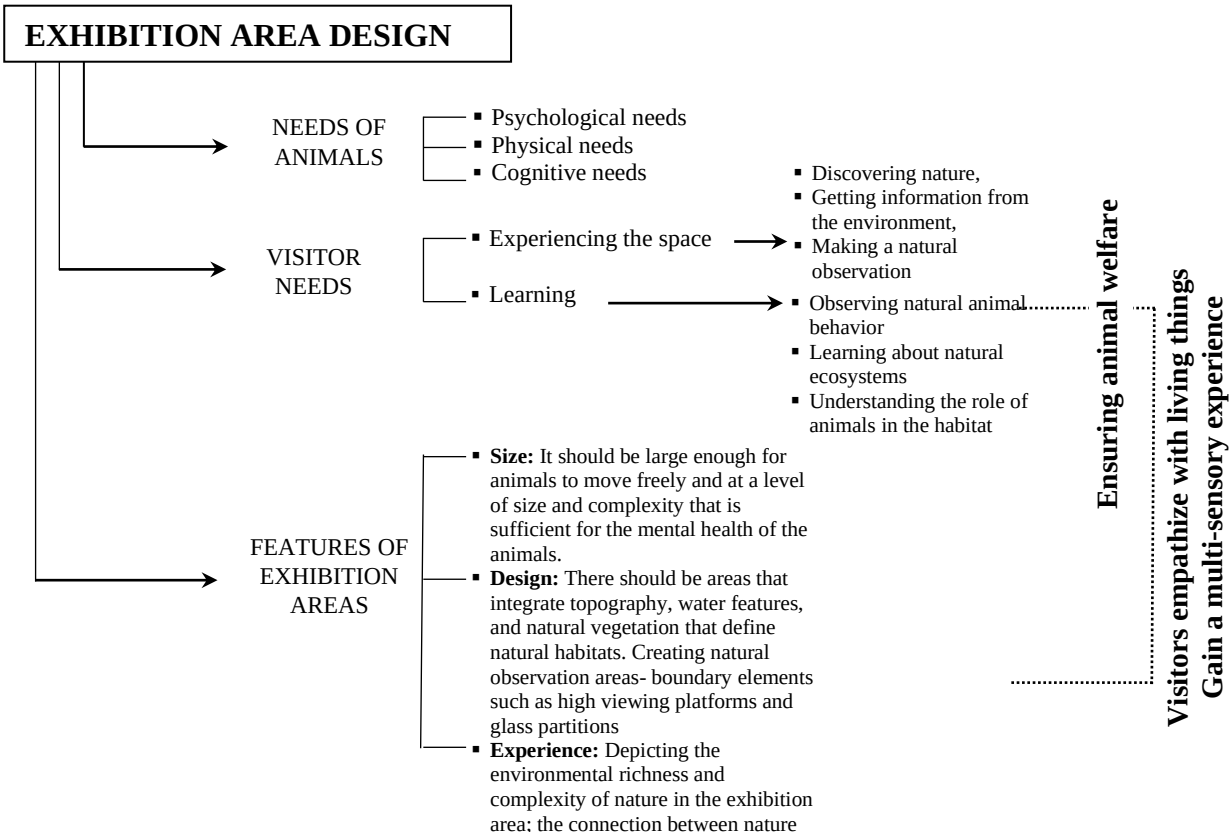


Figure 1. Exhibition area design-visitor and animal relationship

Zoos with these areas become spaces where animals can exhibit their natural behaviors and visitors can interact with nature. Modern zoo designs aim to increase animal welfare with ecosystem-based approaches while also encouraging education and environmental awareness for visitors. It is impossible to give animals their freedom in nature in this limited area, but it is possible to create areas that resemble natural habitats. The exhibition area design is schematized as in Figure 1.

Exhibition areas in zoos; when designed based on natural habitats, provide visitors with a realistic experience while creating areas with high animal welfare. These exhibition areas allow visitors to establish a stronger bond with animals with the environmental richness they possess, and make the information they gain about animals more permanent. These exhibitions have a great potential to create awareness of nature conservation and environmental awareness. The effects of the exhibitions on visitors can be listed as follows:

1. Creating a strong emotional bond and empathy
2. Providing more effective and permanent learning
3. Creating a sense of curiosity/mystery
4. Developing environmental awareness and protection behavior
5. Providing a multi-sensory experience

6. Creating visitor satisfaction

7. Using boundary elements outside the field of view

The effects of exhibitions on animals can be listed as follows:

1. Providing a large and natural living space

2. Supporting the physical and psychological needs of animals

3. Providing animals with the opportunity to move and hide as freely as possible

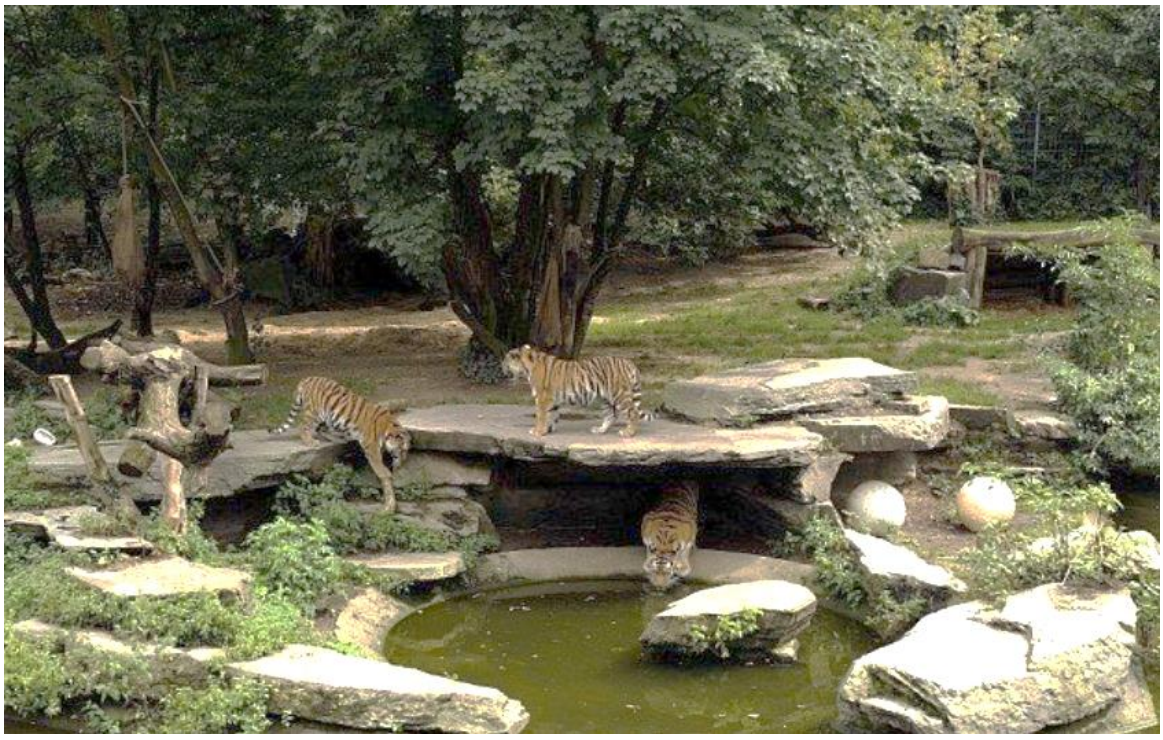
4. Providing opportunities for social behavior of animals

5. Providing animals with a high level of welfare living space

FINDINGS

This section includes spatial solutions that reflect nature in zoo designs. The changes in zoo design are evaluated through examples from around the world as follows:

Table 1. Tiger exhibit-Cologne Zoo/Germany (URL1)



1. Inspired by Natural Habitat

- The area is designed to mimic tigers' natural habitat, using rock formations, water features and dense vegetation.
- There are platforms at different heights where the tigers can hide, climb and explore.
- Large trees and water provide shade to help the animals cool down in hot weather.

2. Ecological and Sustainable Design

- The dense green elements and natural water source in the area support ecological diversity.
- Rock formations and the use of natural materials show that the area is designed sustainably.
- The water element makes an important contribution to the tigers' cooling and drinking water needs.

3. Animal Welfare Assessment

- The large and varied height areas allow tigers to exhibit their natural behaviors.
- The animals' psychological and physical needs are taken into account by providing hiding, resting and playing areas.
- The presence of water provides tigers with the opportunity to swim and cool off in accordance with their natural habits.

4. Visitor Experience and Safety

- It is designed so that visitors can observe the tigers from a safe distance.
- The area is surrounded by natural barriers, which requires fewer artificial barriers for both the animals and the visitors.
- A natural environment experience is offered to visitors with a visually aesthetic arrangement.

Table 2. Elephant exhibit- Bioparc Valencia/İspanya (URL2)





1. Inspired by Natural Habitat

- The area is large and open, mimicking the elephants' natural habitat.
- Elements such as large rocks, a pond and a waterfall give the feeling of a natural environment.
- There is enough space for the elephants to move, allowing them to exhibit their natural behaviors.

2. Ecological and Sustainable Design

- Water feature: Water features such as ponds and waterfalls create a natural ecosystem for elephants to cool off and play.

- Green areas: Trees and plants provide shade, increasing the biodiversity of the area.
- Using natural materials: Rock forms and natural stones offer a sustainable landscaping approach by minimizing artificial structures.

3. Animal Welfare Assessment

- Elephants can move around comfortably thanks to the large area.
- Water sources provide both drinking water and swimming opportunities, making an important contribution to animal welfare.
- Rocks and plants provide a comfortable living environment for animals by providing shade and resting areas.

4. Visitor Experience and Safety

- The rocky structures and natural obstacles around the area provide safety without restricting the elephants.
- Water features and landscape design provide an aesthetic view for visitors.
- Various angles are provided for visitors to observe the elephants.

This exhibition area has a successful landscape design inspired by natural habitats. Both animal welfare and visitor experience are taken into consideration. Elements such as water feature, large area and natural barriers create a sustainable and functional ecosystem.

Table 3. Tiger exhibit-Cologne Zoo/Germany (URL3)



1. Inspired by Natural Habitat

- The area is designed to resemble the tiger's natural habitat. Rock areas, water features and dense

vegetation are used.

- The tiger's ability to climb onto a high rocky area provides it with a commanding view and allows it to display its natural behaviors.
- The vegetation is designed to allow the tiger to hide and rest.
- The water feature is suitable for the tiger's need to cool down and also contributes to the visitors' sense of a natural environment.

2. Ecological and Sustainable Design

- By using natural materials (rocks, plants, water), artificial appearance is avoided.
- The water element can meet the tiger's drinking water needs and play a sustainable role in the ecosystem.
- The vegetal landscape that supports biodiversity increases the ecological balance of the area.

3. Animal Welfare Assessment

- A large and open space is provided, which supports the tiger's ability to move freely and exhibit its natural behaviors.
- Platforms at different heights can stimulate the tiger's hunting instincts.
- The water element helps the tiger balance its body temperature while also creating an environment where it can play.

4. Visitor Experience and Safety

- A viewing angle has been provided where visitors can clearly observe the tiger.
- The separation of the area with natural barriers and glass barriers ensures animal and human safety while allowing visitors to have a natural experience.
- A design has been used where visitors can see the tiger from different angles.

The exhibition area has a very successful design based on the natural habitat. It was created with both the tiger's well-being and the visitor experience in mind. A comfortable environment for the animal is provided thanks to the natural landscape elements, spacious living space and water feature.

Table 4. Deniz aslanı sergisi- Bronx Zoo/Amerika (URL4)



1. Inspired by Natural Habitat

- The area is designed to suit the sea lions' natural habitat.
- Rocky structures provide areas where the sea lions can climb, rest and sunbathe.
- A large water pool meets the sea lions' swimming and diving needs.
- The planting is arranged to create a sense of a natural ecosystem.

2. Ecological and Sustainable Design

- The use of natural materials (rocks, water, plants) has given the exhibition area a look far from artificiality.
- The aquatic ecosystem is an important factor for the health of sea lions. However, the cleanliness and filtration of the water should be ensured regularly.
- The surrounding green areas protect the ecological balance of the area and offer visitors a more natural experience.

3. Animal Welfare Assessment

- The use of natural materials (rocks, water, plants) has given the exhibition area a look far from artificiality.
- The aquatic ecosystem is an important factor for the health of sea lions. However, the cleanliness and filtration of the water should be ensured regularly.
- The surrounding green areas protect the ecological balance of the area and offer visitors a more natural experience.

4. Visitor Experience and Safety

- Viewing platforms and railings allow visitors to observe the sea lions from a safe distance.
- The design, which offers a natural experience in terms of scenery, allows visitors to watch the animals without artificial obstacles.
- For education and information, panels can be added to inform visitors about the life of sea lions

The exhibition area was created with natural rocks and a wide water surface, inspired by the natural habitat of sea lions. While the planting adds depth to the exhibition area, visitors are also provided with the opportunity to observe nature.

CONCLUSION

When zoos are designed based on nature, they become a series of spaces that allow people to



Inspired by Natural Habitat: The area is supported by rocks, bushes and grass areas that resemble the animal's natural habitat. This allows the animals to live in a more natural environment and offers an aesthetic experience to visitors.
Trees and plants provide shade areas for the animals and give the exhibition area a natural appearance. This is important in terms of creating areas where the animals can cool off in hot weather.
The natural rocks and cave-like structures used in the design create areas where the animals can hide. This provides a safe space for the animals, especially in stressful situations.

Boundary elements that provide unobstructed views: Transparent barriers surrounding the area allow visitors to easily observe the animals from eye level, while eliminating the disturbing feeling caused by closed cages.

Wide viewing angle for visitors: The walking paths on the upper levels offer visitors the opportunity to observe the animals without disturbing them. In this way, the natural movement areas of the animals are preserved and a good observation point is created for people**.**

Gradual observation area: Gradual arrangement of the area at different heights increases the freedom of movement of the animals and allows visitors to observe from different angles.

Figure 2. Exhibition area model

Thus, it allows people to accumulate memories with this natural area and its inhabitants and develop a sense of belonging. In this context, it is very important for zoos to reflect nature; people who develop feelings as if they are in nature feel connected to nature and its inhabitants, develop a sense of value and interact. This positively affects people's psychological and physical health, while allowing them to enjoy the experience of discovery and creating a sense of satisfaction in visitors. The sense of satisfaction that occurs in visitors at zoos is very important. Because satisfaction strengthens the intention to visit again, this is an absolute must for the zoo's survival and effective conservation education. As a result, zoos should aim to change the visitors' perspective on nature and animals and to change their behavior towards animals in a positive way. After visiting a zoo, the individual should have a more protective attitude towards animals and natural life. Which zoo exhibition areas create these positive approaches in visitors? These are exhibition areas that meet the needs of animals and visitors and have designs that reflect nature. Figure 2 presents a proposal for a place that offers visitors an impressive observation experience and can be a natural habitat for animals.

REFERENCES

Anderson, D., Lucas, K. B., & Ginns, I. S. (2003). Theoretical perspectives on learning in an informal setting. *Journal of research in science teaching*, *40*(2), 177-199.

Azevedo, C. S., Cipreste, C. F., Pizzutto, C. S., & Young, R. J. (2023). Review of the effects of enclosure complexity and design on the behaviour and physiology of zoo animals. Animals, 13(8), 1277.cience Education, Part B, 11(1), 1-16.

Brereton, J. E., Coe, J., & Fernandez, E. J. (2025). Improving Zoo Exhibit Design: Why We Need Temporary Exhibit Design. Journal of Zoological and Botanical Gardens, 6(1), 19.

Greenwell, P. J., Riley, L. M., Lemos de Figueiredo, R., Brereton, J. E., Mooney, A., & Rose, P. E. (2023). The societal value of the modern zoo: A commentary on how zoos can positively impact on human populations locally and globally. Journal of Zoological and Botanical Gardens, 4(1), 53-69.

Hosey, G. R. (2005). How does the zoo environment affect the behaviour of captive primates? *Applied Animal Behaviour Science*, *90*(2), 107-129.

Keulartz, J. (2023). Towards a futureproof zoo. Animals, 13(6), 998.

Routman, E., Ogden, J., & Winsten, K. (2010). Visitors, conservation learning, and the design of zoo and aquarium experiences. Wild Mammals in Captivity: Principles and Techniques for Zoo Management, 137-150.

Spooner, S. L., Jensen, E. A., Tracey, L., & Marshall, A. R. (2021). Evaluating the effectiveness of live animal shows at delivering information to zoo audiences. International Journal of Science Education, Part B, 11(1), 1-16.

Yılmaz, S., & Alpak, E. M. (2019). Visitor experiences in a naturalistic zoo exhibit. *Fresenius Environmental Bulletin*, *28*(1), 44-52.

Yılmaz, S., & Özbilen, A. (2011). Hayvanat bahçeleri tasarım ilkeleri ve tipolojileri. *SDÜ Orman Fakültesi Dergisi*, *12*, 47-56.

Yılmaz, S., Düzenli, T., & Çiğdem, A. (2017). Visitors experiences in different zoo exhibits. *Current World Environ*, *12*, 17-27.

URL1 https://phys.org/news/2012-08-tiger-german-zoo-woman.html

URL2. https://bioparcvalencia.es/en/animals-and-habitats/

URL3. https://uk.pinterest.com/pin/837177018268555098/

URL4. https://michaelminn.net/newyork/parks/bronx-zoo/index.html

GENÇLERİN ÇEVRE YANLISI DAVRANIŞLARININ GELİŞİMİ VE TOPLUMSAL ETKİLERİ

THE DEVELOPMENT OF PRO-ENVIRONMENTAL BEHAVIOR OF YOUNG PEOPLE AND ITS SOCIAL IMPACTS

Nida KURAK SEZGİN
Res.Asst., Karadeniz Technical University, Faculty of Forestry, Department of Landscape Architecture
ORCID ID: 0000-0001-9825-1913

Serap YILMAZ
Prof.Dr., Karadeniz Technical University, Faculty of Forestry, Department of Landscape Architecture
ORCID ID: 0000-0002-0088-3769

ÖZET

Bu çalışma, gençlerin çevre yanlısı davranışının gelişimine ve bu gelişimin toplumsal etkilerine odaklanmaktadır. Son yıllarda, küresel çevre sorunlarına ilginin arttığı bu dönemde, gençlerin çevre bilincini arttırmanın önemi belirgin bir şekilde ortaya çıkmıştır. Okullarda verilen çevre eğitimi ile çevreye duyarlı projeler, gençlerde çevreye duyulan ilgiyi arttırırken aynı zamanda sosyal medya vb. platformlarda çevre konularındaki farkındalık için etkin bir araç olarak görülmektedir. Bu bilgilere ek olarak cinsiyet, sosyal etkileşim ve eğitim düzeyi gibi faktörlerden de etkilenmektedir. Özellikle eğitimin çevre bilincinin şekillenmesinde önemi dikkat çekmektedir. Çalışmalar, çevre eğitimini etkin bir şekilde genç kullanıcıların becerilerini geliştirdiği ve sosyal katılım olanaklarını arttırarak toplumsal gelişime de katkı sağladığını göstermektedir. Çalışmada çevre yanlısı davranışın gelişiminde ektili olan faktörler ele alınarak bu davranışın toplumsal düzeydeki etkileri değerlendirilmektedir. Gençlerin bu davranışını benimsemesi, yalnızca bireysel olarak değil aynı zamanda toplumsal normları etkileyen ve sürdürülebilirlik politikalarını güçlendiren bir etki uyandırmaktadır. Gençlerin çevresel hareketlere katılım göstermesi, iklim değişikliği gibi küresel sorunlara karşı toplumsal bir bilinç oluşturmada da önemli bir rol oynamaktadır. Dünya genelinde gençlerin çevre yanlısı davranışları teşvik etmek amacıyla başlattığı birçok önemli proje bulunmaktadır. Çalışmada ayrıca gençlerin çevre yanlısı davranış için hayata geçirdiği projeler hakkında bilgiler verilerek bu bilincin oluşturduğu toplumsal etki değerlendirilecektir. Sonuç olarak, gençlerin çevre yanlısı davranış geliştirmede teşvik etme çabalarının gelecek için daha sürdürülebilir bir toplum ve çevre oluşturmadaki önemi vurgulanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Çevre yanlısı davranış, Genç, Çevre

ABSTRACT

This study focuses on the development of youth pro-environmental behavior and its societal implications. In recent years, the importance of raising young people's environmental awareness has become evident during this period of increased interest in global environmental issues. Environmental education in schools and environmentally sensitive projects increase young people's interest in the environment, while social media is seen as an effective tool for awareness of environmental issues. In addition to this information, it is also affected by factors such as gender, social interaction and education level. Especially the importance of education in shaping environmental awareness is noteworthy. Studies show that environmental education effectively improves the skills of young users and contributes to social development by increasing social participation opportunities. In this study, the factors that contribute to the development of pro-environmental behavior are discussed and the effects of this behavior at the societal level are evaluated. Adoption of this behavior by young people has an impact not only individually but also on social norms and strengthens sustainability policies. Youth participation in environmental movements also plays an important role in raising social awareness on global issues such as climate change. There are many important projects initiated by young people around the world to promote pro-environmental behavior. The study will also provide information about the projects implemented by young people for pro-environmental behavior and evaluate the social impact of this awareness. As a result, the importance of efforts to encourage young people to develop pro-environmental behavior in creating a more sustainable society and environment for the future is emphasized.

Keywords: Pro-environmental behavior, Youth, Environment

INTRODUCTION

The environment is the physical and social elements in which living beings exist in order to sustain their lives. The natural components of these elements are humans, plants, animals, etc., while the artificial components are buildings and roads (UNEP, 2020). The environment is a whole system that covers people's living spaces and natural elements. It is a combination of social, physical and biological elements in which living and non-living things interact. It is a sum of air, soil, water and people (Upendra et al., 2023; Fang et al., 2018). Environment is a phenomenon formed by natural and built elements in which all living things interact with human activities. It is a whole concept that includes not only biological elements but also chemical and cultural elements. In the ecosystem we are in, everything is related to nature. The totality of these relationships constitutes the environment, so the protection of this environment is critical for sustainability. Environment can be handled with 3 separate components. These components are physical environment, social environment and biological environment.

Physical Environment: It is the name given to the environment that includes natural events and natural resources. These components; Elements such as soil, air, water, climate constitute the physical environment. The physical environment directly affects the areas where people live, work and receive education (Millaku et al., 2023). The physical environment can have a significant impact on the functioning of ecosystems and how people use the environment they live in.

Biological Environment: The biological environment refers to the interaction of living organisms, including plants, animals and microorganisms, and their meeting in a common ecosystem. It is an important component in understanding various ecological factors and environmental health. The biological environment supports critical services such as pollination, climate regulation and soil fertility. These supports improve user well-being and quality of life (Silva et al., 2024)

Social environment: The social environment is the set of social structures that users interact with. Factors affecting the social environment can be summarized as education level, cultural norms and family structure. These elements shape individuals' attitudes towards the environment and affect their level of awareness (Turan & Yangın, 2014). In this context, the role of social environment in solving environmental problems is an undeniable fact.

Environmental problems are an important problem that should be addressed universally. Environmental problems are a crisis that affects everyone regardless of rich, poor, old, young. The protection of the environment with the solutions to be developed for these problems is a responsibility that falls not only on a certain user group but also on all humanity (Atik & Doğan, 2019). For a livable world, it is a duty for every user to adopt an understanding of the world that can be passed on to future generations and to bring it to society. In order to achieve this goal, individuals should be made aware of environmental education and gain awareness of the importance of these problems. In this context, environmental education enables individuals to develop positive attitudes towards the environment. Environmental education also encourages behaviors that support environmental sustainability. According to Bradley, Waliczek and Zajicek (1997), it is possible to raise generations that develop environmentally sensitive behaviors and approach environmental problems with a solution-oriented approach through environmental education. The importance of environmental education in this process is that it is an important tool in shaping not only the present but also the future. The definition of pro-environmental behavior emerges at this point.

RESEARCH

Pro-Environmental Behavior

The term pro-environmental behavior has been the subject of many different studies and different definitions have been made. Clayton and Myers (2015) define pro-environmental behavior as users' involvement in the ecological process and maintaining their lives by ensuring sustainability without disturbing the balance. Pro-environmental behavior refers to

the actions that individuals exhibit to protect the environment. This concept is becoming more and more important with the increasing awareness of environmental problems, and this concept includes individuals making pro-environmental choices and shaping their lifestyles with these behaviors. According to Blake (1999), the concept of pro-environmental behavior is a set of attitudes and behaviors exhibited by individuals to protect the environment with environmental awareness. To summarize, pro-environmental behaviors are defined as behaviors that are related to environmental problems, individual and social actions to protect the environment, and behaviors exhibited in the name of environmental sustainability. Pro-environmental behaviors are important indicators of environmental awareness. These behaviors ;

- Developing sustainable consumption habits
- Reducing the amount of waste (waste management) and recycling (Tükel et al., 2022).
- Measures to save energy
- Use of renewable energy
- Environmental education
- It includes behaviors such as the use of sustainable means of transportation (Steg & Vlek, 2009).

Pro-environmental behaviors are actions taken by individuals and societies to ensure sustainability in the use of natural resources and to reduce the ecological footprint. These behaviors can be integrated into many different branches of daily life. The dissemination of these behaviors provides significant environmental gains at the individual level. Especially the adoption of this behavior by the younger generation is critical in creating communities with high environmental awareness. Since the youth period is one of the first periods when we get to know the environment, it is the phase that shapes our attitudes towards the environment. The attitudes exhibited towards the environment in the youth phase, when the foundations of behavior are established, support the positive shaping of the future. Young people develop their interest in the environment especially during these periods and use these behaviors effectively in their daily lives. In this way, they adopt this behavior as a must-have behavior, not an obligation. Understanding the importance of young people's pro-environmental behavior and knowing the factors that positively affect this behavior is of great importance to encourage these behaviors and provide sustainable solutions.

Factors Affecting Young People's Development of Pro-Environmental Behaviors

The pro-environmental behavior of young users is influenced by individual, environmental and social factors. Understanding these factors is crucial to provide sustainable solutions for young generations. These factors can be categorized as follows:

1.Individual factors : These factors usually refer to the personal judgment, motivation and cultural level of young people.

- Environmental attitudes and awareness: Young people with accurate knowledge about environmental issues are more likely to adopt pro-environmental behaviors (Chawla & Cushing, 2007). As environmental awareness develops, the attitude towards the environment changes and the rates of developing pro-environmental behavior increase.
- Responsibility and value: As young people have the belief that individual actions are important in solving environmental problems, their rates of pro-environmental tendency increase. Young users with positive attitudes towards nature and the environment avoid harming nature in their daily lives. In this way, young users fulfill their environmental responsibilities

2. Social factors: These factors generally refer to young people's family environment, circle of friends and social influences such as social media.

- Family and friends: The importance given to the environment and sustainability by the family and peer environment affects the pro-environmental behavior of young people. Social norms formed with family and peer groups contribute to the development of pro-environmental behavior (Collado, Staats & Sancho, 2019). In this context, social environment is an important source of motivation for an individual to develop pro-environmental behavior.
- Social media: Social media draws attention as the most influential factor in young users' pro-environmental behavior (Anderson, 2017). With the widespread use of social media, young people actively use social media to learn about and practice environmental issues and sustainability. Social media often dramatically illustrates the irreversible damage to nature and enables young people to understand the seriousness of environmental issues and take action. As a result, the social media factor is a powerful and effective tool to increase the pro-environmental behavior of young users.

3. Environmental factors: These factors generally refer to external factors such as the school environment, socio-economic status and living conditions of young people.

- **Education and school:** Environmental education and practices provided in schools strengthen the pro-environmental behavior of young people (Gifford & Nilsson, 2014). The aim of environmental education is to provide young people with information about the environment they live in and to raise awareness. In this way, it is also ensured that environmental awareness is formed and solution-oriented ideas are produced. It has been proven by research that environmental education provided in schools increases the level of awareness.
- **Socio-economic Status and Living Conditions:** This factor is an important environmental factor affecting the pro-environmental behavior of young people. It includes factors such as the socio-economic status and education level of individuals and the region they live in. Individuals with higher education and socio-economic status have more information and opportunities about environmental issues.

Hounkpatin et al. (2020) found that this is effective in raising environmental awareness. In addition, Shin et al. (2021) found that the socioeconomic status of their families affects the general well-being of their children and that environmental awareness is affected by this situation. As a result, reducing environmental inequality and providing equal access to young people is important for promoting pro-environmental behavior throughout society.

The integration of variables such as education, media, and socio-cultural factors provides a basis that can be developed positively for young people's pro-environmental behavior. When the factors affecting young people's pro-environmental behaviors are considered with a holistic approach, a good understanding of these factors and the elimination of possible obstacles create societies with high environmental awareness, increase the number of individuals who adopt environmentally friendly behaviors and contribute significantly to raising future generations more conscious.

The Role of Young Users in Promoting Pro-Environmental Behavior

Young users are key to the dissemination of pro-environmental behavior. Young people's participation in environmental movements and adopting an environmentally friendly lifestyle is an important factor in accelerating social change.

Young people's potential for environmental sensitivity, combined with effective use of digital platforms, contributes to the development and sustainability of pro-environmental behavior. Social media is today's most powerful communication tool and the work carried out on these platforms contributes to the spread of behaviors to large masses (Otto et al., 2019). The Fridays for Future movement also demonstrates the power of young people to draw attention to environmental issues. In the rest of the study, the environmental actions of young people and their social impact will be explained.

RESULTS

Youth Environmental Actions and Social Impacts

Pro-environmental behavior refers to the conscious actions of individuals and societies towards the protection and sustainability of nature in a way that is sensitive to environmental problems. These behaviors can spread to wider masses with the participation of young people and turn into a universal movement. Today, most of the pro-environmental movements are led by young people and have reached large masses. Some of these environmental movements will be analyzed below

Table 1. Fridays For Future Movement (URL 1)





Fridays for Future

Founder/Pioneer : Greta Thunberg (Swedish activist)

The Fridays for Future movement is a global uprising launched in 2018 by Swedish climate activist Greta Thunberg, in which students strike at their schools every week to mobilize governments to take action against climate change. This movement has raised young people's awareness of the climate crisis and inspired social mobilization. This movement has enabled young people to have more say in environmental policies on a global scale and increased pro-environmental actions (UNFCCC, 2019).

Results : Many countries declared emergency plans and governments set more sustainable targets in line with youth demands.

This movement has raised awareness among young people about the climate crisis and inspired social action.

Tablo 2. The Ocean Cleanup Movement (URL 2)





The Ocean Cleanup

Founder/Pioneer : Boyan Slat (Dutch entrepreneur)

The Ocean Cleanup is an environmental movement that aims to rid the oceans of plastic waste. Founded by the young entrepreneur Boyan Slat in 2013, this project aims to clean the oceans of plastic waste with technological support. The ocean cleanup project aims to reduce pollution with large-scale systems (Aktaş et al., 2019). The most important social impact of the movement is to raise awareness about plastic pollution worldwide.

Conclusions : The success of this project has changed perceptions about the use of technology in solving environmental problems. With innovative technologies, social awareness has been created that environmental problems can be solved not only with political solutions but also with technology (Kühn, Bravo Rebolledo, & van Franeker, 2015).

This movement accelerated the adoption of pro-environmental behaviors in society and contributed to the reduction of plastic use. This movement is a pioneering example showing that young individuals can play a leading role in solving environmental problems.

Tablo 2. Zero Waste Teen Movement (URL 3)





Zero Waste Teen
Founder/Pioneer : Ava Langridge Zero waste teen movement is a universal movement that aims to reduce waste production and encourage young people to adopt lifestyles that promote sustainability. The pioneer of this movement is 17-year-old environmental activist Ava Langridge. Ava adopted a zero-waste lifestyle during her childhood and shaped her life accordingly. In addition to individual lifestyle change, this movement has wider societal impacts. Studies show that youth-led efforts reach a wider audience and lead to significant changes in local waste policies and practices. **Conclusions :** Youth participation in the zero waste movement has enabled the development of recycling and sustainable living habits in communities and schools.

The Zero Waste Teen movement has shown that young people can increase both individual and social environmental awareness by adopting sustainable living habits. The change initiated by young people through this movement enables a reduction in the use of plastic, an increase in recycling awareness and the raising of more responsible individuals against the climate crisis.

CONCLUSION

This study shows that the pro-environmental behavior of young people is not the result of individual preferences, but a multi-layered formation shaped by the influence of social, cultural and technological factors. In addition to family and social environment, it is obvious that social media is also a determining factor in the development of young people's environmental awareness criteria. In particular, youth movements such as Fridays for Future, Zero Waste Teen, The Ocean Cleanup and similar youth movements are powerful movements that affect policies and create behavioral change at the social level beyond increasing environmental awareness.

In this context, the pro-environmental behavior of young people should be associated not with individual but with environmental justice, climate activism and collective responsibility. Young people being active in these processes, starting environmental education at an early

age and the conscious use of social media are important tools in the development of pro-environmental behavior.

As a result, in today's world where the environmental crisis is increasing, the development of pro-environmental behavior of young people is not only individual but also strategically important in terms of building a sustainable future. In this direction, it is a critical factor for politicians, educators and non-governmental organizations to work more closely with young people and integrate them into decision-making processes in order to make environmental transformation permanent.

REFERENCES

Aktaş, A., Kırçiçek, Y., & Şener, A. Ş. (2019). Rüzgâr ve Deniz Akıntı Enerjisinin Tahrik Ettiği Güç Üretim Sisteminin İncelenmesi. Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology, 7(1), 141-152.

Altay, Ş.(2024). İnsani değerler ve sürdürülebilir tüketim: Tutumlar ve satın alma istekliliği üzerinde insani değerlerin etkileri. Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi SBE Dergisi, 14(2), 595-610.

Anderson, A. A. (2017). Effects of social media use on climate change opinion, knowledge, and behavior. In *Oxford research encyclopedia of climate science*.

Bradley, J. C., Waliczek, T. M., & Zajicek, M. (1997). Relationship between demographic variables and environmental attitudes of high school students. Journal of Natural Resources Life Science Education, 26(2), 102-104.

Chawla, L., & Cushing, D. F. (2007). Education for strategic environmental behavior. *Environmental education research*, *13*(4), 437-452.

Collado, S., Staats, H., & Sancho, P. (2019). Normative influences on adolescents' self-reported pro-environmental behaviors: The role of parents and friends. *Environment and Behavior*, *51*(3), 288-314.

Desai, B. H. (2020). 14. United Nations Environment Programme (UNEP). Yearbook of International Environmental Law, 31(1), 319-325.

de Oliveira Silva, C. A., da Assunção, H. F., & da Costa, C. H. M. (2024). Environmental management and its influence on the quality of cerrado soils. *Revista Ciência Geográfica*, *28*(1), 258-273.

Fang, W. T., Ng, E., & Zhan, Y. S. (2018). Determinants of pro-environmental behavior among young and older farmers in Taiwan. *Sustainability*, *10*(7), 2186.

Gifford, R., & Nilsson, A. (2014). Personal and social factors that influence pro-environmental concern and behaviour: A review. *International journal of psychology*, *49*(3), 141-157.

Hounkpatin, H. O., Fraser, S. D., Johnson, M. J., Harris, S., Uniacke, M., & Roderick, P. J. (2020). The association of socioeconomic status with incidence and outcomes of acute kidney injury. *Clinical Kidney Journal*, *13*(2), 245-252.

Kühn, S., Bravo Rebolledo, E. L., & Van Franeker, J. A. (2015). Deleterious effects of litter on marine life. *Marine anthropogenic litter*, 75-116.

Millaku, J., Zhushi-Etem, F., Hyseni-Spahi, M., Ymeri, P., Shala-Abaz, A., Zogaj, F., & Bytyçi, P. (2023). Environmental Attitudes and Behaviors of High Secondary School Students in Kosovo. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, *18*(4), 1155-1160.

Steg, L., & Vlek, C. (2009). Encouraging pro-environmental behaviour: An integrative review and research agenda. *Journal of environmental psychology*, *29*(3), 309-317.

Upendra, S., Kaur, J., & Barde, S. (2024). Pro-environmental practice among young population: A scoping review. *Public Health Nursing*, *41*(2), 245-254.

UNFCCC. (2019). Fridays for Future: The global youth movement for climate justice. United Nations Framework Convention on Climate Change.

Turan, İ., & Yangın, S. (2014). FARKLI PROGRAMLARDA OKUYAN ÖĞRETMEN ADAYLARININ" BİYOLOJİK ÇEŞİTLİLİK" KAVRAMINA YÖNELİK ALTERNATİF ANLAYIŞLARI VE OLASI NEDENLERİ. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, *13*(49), 84-10

Tükel, Y., Akçakese, A., Yolcu, A. F., & Demirel, M. (2022). Doğayla ilişkinin ekorekreasyona yönelik tutum üzerine etkisi. *CBÜ Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi*, *17*(2), 380-394.

Otto, S., & Pensini, P. (2017). Nature-based environmental education of children: Environmental knowledge and connectedness to nature, together, are related to ecological behaviour. *Global environmental change*, *47*, 88-94.

URL 1. https://www.rifs-potsdam.de/en/blog/2019/09/responding-fridays-future-and-youth-movement-climate-justice

URL 2. https://purewater.eu/en/project-ocean-christmas-gift-support-clean/

URL 3. https://biocubeco.com/news/there-is-no-planet-b-so-how-do-we-look-after-planet-a/

ÇEVRESEL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK KAPSAMINDA YEŞİL ÇATILAR

GREEN ROOF IN THE CONTEXT OF ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY

Betül TÜRKMEN
Öğr. Gör., İstanbul Beykent Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, İç Mekan Tasarımı Programı
Lect., İstanbul Beykent University, Vocational School, Interior Design Program
ORCID ID: 0000-0002-4781-7304

ÖZET

Nüfusun hızlı bir şekilde artması, kent merkezlerine göç ve plansız büyümeler, doğal kaynakların hızla tükenmesi ile çevreye verilen negatif etkiyi azaltma yöntemlerinin arayışı sürdürülebilirlik kavramını doğurmuştur. Özellikle sanayi devrimi ile kentsel alanlara göç hızla artmış, artan nüfusun barınma ihtiyacını karşılamak için çok sayıda yapı inşa edilmiştir. Bu durum, kentlerdeki yeşil alanların sayısında önemli bir azalmanın yaşanmasına neden olmuştur. Yeşil alanların azalması ile çevresel olumsuzlukların yanı sıra kentlerde yaşayan insanları fizyolojik ve psikolojik olarak etkilemektedir. Yeşil çatılar, kentlerde yaşayan insanlar için az sayıdaki rekreasyon alanlarına bir alternatif oluşturmaktadır. Bu bağlamda çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine katkı sağlayan yeşil çatılar yenilikçi bir yapı üretim yaklaşımıdır. Yeşil çatılar ile kentsel ısı ada etkisinin azaltılması, hava kalitesinin iyileştirilmesi, ısı yalıtımı ve enerji verimliliği, yağmur sularının değerlendirilmesi, biyolojik çeşitliliği arttırma, sosyolojik ve psikolojik olmak üzere birçok etkisi bulunmaktadır. Dolayısıyla yeşil çatılar, çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada önemli bir araçtır. Günümüzde iklim değişiklikleri, doğal felaketler aracılığıyla somut bir şekilde hissedilmektedir. Bu kapsamda, tüm sektörlerde olduğu gibi yapı sektöründe de çevresel çözümler devreye alınmalıdır.

Bu çalışmada ekolojik çatı, yaşayan çatı, çatı bahçesi ve yeşil çatı kavramları irdelenmiş ve birbirinin yerine kullanılan bu kavramların farklılıklarından bahsedilmiştir. Yeşil çatıların çevresel sürdürülebilirlik kriterlerine katkısı, tasarım prensipleri, bileşenleri ve türlerine değinilmiştir. Çalışma sonucunda, Türkiye'den uygulanan yeşil çatı projeleri örnekleri hakkında bilgiler verilmiş; yeşil çatıların kullanım amaçları, çevresel, ekonomik ve toplumsal faydaları üzerine değerlendirmelerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Yeşil Çatılar, Çevresel Sürdürülebilirlik, Ekoloji.

ABSTRACT

The rapid increase in population, migration to urban centers, and unplanned urban expansion have led to the rapid depletion of natural resources and increased environmental degradation, resulting in the emergence of the concept of sustainability. Particularly after the industrial

revolution, migration to urban areas intensified, and numerous buildings were constructed to meet the housing demands of the growing population. This situation caused a significant decline in the number of green spaces in cities. The reduction of green spaces has not only caused environmental problems but also adversely affected the physiological and psychological well-being of urban residents. Green roofs serve as an alternative to the limited recreational areas available to urban populations. In this context, green roofs represent an innovative building production approach that contributes to environmental sustainability goals. They offer various benefits, including mitigating the urban heat island effect, improving air quality, enhancing thermal insulation and energy efficiency, managing rainwater, increasing biodiversity, and providing sociological and psychological advantages. Therefore, green roofs are a critical tool in achieving environmental sustainability goals. In this context, ecological solutions must be implemented in the construction sector, as in all other industries.

This study addresses the contributions of green roofs to environmental sustainability criteria, their design principles, components, types, application principles, and details. Additionally, examples of green roof projects implemented in Turkey and around the world are presented, along with information about their project details.

Keywords: Green Roofs, Environmental Sustainability, Ecology.

1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun hızla artması, doğal kaynakların hızla tükenmesi sebebiyle ekosistemin bozulması olumsuz çevresel etkileri azaltma arayışını doğurmuş ve sürdürülebilirlik kavramını ön plana çıkarmıştır. Nüfus artışıyla birlikte çevresel değerler değişime uğramaya başlamıştır. 1990'ların başında çevresel sorunların artması, sürdürülebilirliği çevresel bağlamda daha da önemli hale getirmiştir. Bu sorunlara çözüm bulma çabasıyla birçok yöntem, malzeme, araç ve program geliştirilmiştir [1, 2]. Kentlerin nüfus yoğunluğu arttıkça kentsel boşluklar, nefes alınabilir ve yeşil alanların sayısı azalmaktadır. Kentlerde arsa fiyatlarının çok yüksek olması sebebiyle, ihtiyaç duyulan yeşil alanlar yerini inşaat alanlarına bırakmıştır ve gün geçtikçe kentlerde yeşil alan miktarını azalmaktadır. Yeşil alanların azalması ile iklimsel değişiklikler, hava kirliliği, biyoçeşitlilikte azalma, ısı ada etkisi görülmektedir. Kentlerde yeşil alanların kaybolmasının ekolojik çeşitliliğin azalması, geçirimsiz yüzeylerin artması ile şehir içlerinde taşkınların olması, ısı ada etkisi ile ortalama sıcaklıkların normalin üzerine çıkması, yaşayan bitki ve hayvan popülasyonun azalması, enerji tüketimlerinin artması, karbon emisyonun artması, hava kalitesinin düşmesi, uçucu toz ve partiküllerin artarak insan sağlığını olumsuz yönde etkilemesi, doğal ses bariyeri görevi gören ağaçların olmaması sebebiyle gürültü kirliliğinin artması gibi bir çok çevresel, fizyolojik ve psikolojik etkisi bulunmaktadır. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) fiziksel ve psikolojik açıdan sağlıklı bireylerin olması için kentlerde kişi başına 10-15 metrekare yeşil alan önermektedir. Günümüz koşullarında, Türkiye'deki İstanbul, Ankara, İzmir gibi kent

merkezleri bu oranın oldukça altında kalmıştır. Yeşil çatılar ile kentlerde olmayan veya yetersiz miktarda olan yeşil alanları destekleyici bir çözüm olan yenilikçi bir yaklaşımdır [3].

Yeşil çatıların kentlerde ve yapılarda belirtilen avantajlarının yanı sıra birtakım dezavantajları da mevcuttur. Özellikle binaya ek yük bindirmesi sebebiyle ek önlemler alınması gerekmektedir. Bitkilerin canlı olması periyodik bakım yapılması gereksinimi ortaya çıkarmaktadır. Bitki köklerinin yapıya zarar vermemesi için uygun bitki türleri seçilmeli ve yapı elemanı tasarımında bu durum göz önüne alınarak proje detaylandırılmalıdır. Bu etmenler yapının özellikle ilk yatırım maliyetini arttırmakta ve yatırımcılar için tercih edilmesinde zorluk oluşturmaktadır. Yeşil çatı uygulamaları yatırımcılar tarafından inşaat ve bakım maliyetini arttırdığı için başlangıçta olumsuz görülse de çevresel ve psikolojik katkıların yanı sıra yapı için ısı yalıtımı görevi görmekte ve enerji tüketim miktarlarını azaltmaktadır. Dolayısıyla yapının ömrü boyunca doğru bitki seçimleri, yapı detaylarının uygun tasarlanması, doğru malzeme ve uygulama ile enerji tasarrufu sağlayacaktır [3].

Bu çalışmada öncelikle yeşil çatıların sürdürülebilirliğe katkısı; ekonomik, çevresel ve sosyal boyutlarıyla ele alınmıştır. Devamında, yeşil çatı kavramı tanımlanarak tarihsel gelişimi incelenmiştir. Yeşil çatı türleri, sistemleri ve bileşenleri detaylı olarak analiz edilmiştir. Bu bağlamda Türkiye ve dünyadaki yeşil çatı uygulamalarına yer verilerek, projelerin detayları incelenmiştir. Elde edilen tüm veriler doğrultusunda yapılan değerlendirmelerle çalışma tamamlanmıştır.

2. YEŞİL ÇATILAR

2.1. Yeşil Çatı Kavramı

Çevresel sürdürülebilirliğin önemli yöntemlerinden biri olan yeşil çatılar, literatürde farklı başlıklar altında ele alınmaktadır. Genel başlık olan “bitkilendirilmiş çatı” kavramı; yeşil çatı (green roof), yaşayan çatı (living roof), çatı bahçesi (roof garden) ve ekolojik çatı (eco-roof) alt başlıklarını içermektedir. Bu alt başlıklar zaman zaman birbiri yerine kullanılsa da uygulama ve işlev açısından farklılıklar göstermektedir. Ekolojik çatı ve yaşayan çatı, mevsime bağlı olarak gelişen çatı uygulamalarıdır [2].

Çevresel sürdürülebilirlik kapsamında yapıların çatı elemanları incelendiğinde, ilk karşımıza çıkan terim ‘ekolojik çatı’ olmaktadır. Ekolojik çatı, birçok kaynakta yeşil çatı ile eş anlamlı kullanılsa da aslında daha geniş bir kavramdır. Genellikle kurak bölgelerde kullanılan ekolojik çatı, kahverengi veya seyrek yeşil çatılar için tercih edilen, kendi kendine yaşamını sürdürebilen hafif bir toprak tabakasıdır. Bu kavram, kahverengi ve yeşil çatı türlerinin ortaya çıkmasına da zemin hazırlamıştır. Kahverengi çatı, doğal ve biyolojik çeşitliliği desteklemek amacıyla atık malzemelerden elde edilen toprak, kum, çakıl ve organik materyallerle oluşturulur. Çatı yüzeyi, canlıların beslenebileceği, yuva yapabileceği ve rüzgarla gelen tohumların büyüyebileceği bir alan sunar. İnsan müdahalesi olmadan, tamamen doğal yollarla gelişir. Yeşil çatılardan farklı olarak, bitkilendirme süreci kendiliğinden gerçekleşir ve zamanla yerel flora ve faunanın gelişmesine olanak tanır [4]. Yeşil çatı ise insan

müdahalesiyle ekilen ve belirli aralıklarla bakıma ihtiyaç duyan, yetiştirme tabakası, kök tutucu gibi ek katmanların olduğu bir çatı türüdür. Yeşil çatılarda her zaman bitki örtüsü bulunması beklenirken, kahverengi çatılarda böyle bir zorunluluk yoktur [4]. Yeşil çatı kavramı ekolojik çatı, yaşayan çatı ve çatı bahçesi gibi farklı terimlerle piyasada ve literatürde ortaya çıkabilmektedir. Bu terimler benzer şekilde kullanılsa da işlev ve temel amaç açısında farklılıklar bulunmaktadır. Yeşil çatının temel amacı işlev ve estetikten ziyade, iklime uygun çözümlerle yapının ekonomik ve ekolojik açıdan enerji verimli olmasını sağlayarak; ısıtma ve soğutma yüklerini azalmaktır [5]. Yeşil çatı insan yerleşimine veya kullanımına açık olmayan; yüzeyi su geçirmez bir yalıtım örtüsü, toprak ve çeşitli bitkiler ile kaplı, çevresel ve ekonomik faydaları optimize eden bir çatı sistemidir [2].

Çatı bahçesi ise bu kavramlardan en farklı olanıdır. Genellikle kentsel alanlardaki sosyal iletişim eksikliğini gidermek amacıyla tasarlanır. Çevresel katkısından ziyade işlevsel yönü ön plandadır. Bu tür çatılar; rekreasyon alanları, oturma ve yemek bölümleri ile saksılar ve aydınlatmaların kullanıldığı sosyal mekanlar olarak düzenlenmektedir. Yeşil çatı ise çatı bahçelerinin baskın olan sosyal ve estetik özelliklerinin aksine, yapının ekonomik ve çevresel verimliliğini ön plana çıkararak inşa edilmesini amaçlamaktadır [2].

2.2. Yeşil Çatıların Tarihçesi

En erken çatı bahçeleri M.Ö. 4000-600 yılları arasında Mezopotamya (Asurlar, Sümerler, Babiller) bölgesinde görülmektedir. Taş ile inşa edilen piramit forma sahip, merdiven ve rampalarla çıkılan suni tepeler tapınak olarak kullanılarak; bu yapılara ziggurat denmektedir. Zigguratların teraslarında ilk çatı bahçeleri örnekleri bulunmaktadır [2]. Dünyanın yedi harikasından biri olan Babil'in Asma Bahçeleri, çatı bahçelerinin işlevsel ve estetik amaçlarla kullanıldığı en önemli örneklerden biridir. Genellikle eğlence amaçlı kullanılan bu çatı bahçeleri, süs havuzları ve dekoratif bitkilerle donatılmıştır [5]. M.S 79 yılında Pompei kasabası volkanik külle kaplanmıştır. O dönemki binalar teraslarıyla birlikte korunmuş olup, bugünün çatı bahçeleri tanımına uymaktadır. M.S. 800-1000 yılları arasında ise soğuk iklime sahip Kuzey Atlantik bölgesinde yalıtım amacıyla çim kaplı çatıların kullanıldığı bilinmektedir. 14. Yy. gelindiğinde ise İtalya'nın Lucca şehrinde bulunan Benotti kulesinin çatısında 61 cm derinlik içerisinde büyüyen bir meşe ağacı bulunmaktadır [4].

1800'lü yıllarda yeşil çatı kavramı ortaya çıkmış ve Avrupa'da ısı yalıtımı amacıyla yaygınlaşmaya başlamıştır. 1970'li yıllarda Almanya'da yeşil çatının modern anlamda kullanımı ve detaylarının sistematize etme çalışmaları yapılmıştır. Bu doğrultuda, bitki türleri ve etkileri üzerine araştırmalar yapılmış, ayrıca yapıların üzerindeki etkileri incelenmiştir [5]. Le Corbusier, kendi mimari tecrübeleri sonucunda yeşil çatıların modern mimarinin beş temel elemanından biri olduğunu savunmuştur. Arsalarda yaşanan kayıpların yeşil çatılar ile telafi edilebileceğini belirtmiştir. 1952 yılında tasarladığı Unité d'Habitation projesi ile yeşil çatılar yapı tasarımına dahil edilmiştir [6]. Yeşil çatı sistemlerinin yapı sektöründe tam anlamıyla yer bulması, bu konuda öncü araştırmalara sahip Almanya'da dahi 1970'lere kadar mümkün olmamıştır. Bu durumun en önemli sebebi bitkilerin ağırlığı sebebiyle yapılara gelen yük

kaynaklıdır. 1980 yıllarında temiz su kaynakları üzerinde bulunan Stuttgart şehrindeki kirlenmeyi önlemek amacıyla yeşil çatı teknolojileri zorunlu tutulmuştur. Almanya'da birçok belediye yeşil çatıların yapılara entegrasyonunu zorunlu kılan yönetmelikler ve kanunlar çıkarmıştır [2]. Günümüzde yeşil çatılar prestijli uluslararası oteller, iş merkezleri ve özel konutlar için tasarlanmaktadır.

Kentsel alanlarda ekolojik sürdürülebilirliğin sağlanması kapsamında yeşil çatıların önemli katkıları bulunmaktadır. Doğal kaynakların azalması, enerji kaynaklarının verimsiz tüketimi, atık suların değerlendirilememesi, küresel ısınma, ısı ada etkisi gibi problemler, Avrupa'da yeşil çatı kavramını ve uygulamalarını öne çıkarmıştır. Özellikle Almanya yönetmelik ve kanunlarla yapılarda yeşil çatı kullanımına teşvik etmektedir. Asya'da ise Japonya yapı çatı alanlarının en %20'sini yeşil çatı olarak değerlendirmeyi zorunlu tutmaktadır [6].

2.3. Yeşil Çatı Çeşitleri

Yeşil çatılarda tercih edilen bitki türlerine ve alt katmanlarda kullanılan malzemelere göre seyrek (ekstansif) ve yoğun yeşil çatılar olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır.

2.3.1. Seyrek (ekstansif) yeşil çatılar

Seyrek (ekstansif) çatılar, insan girişinin sınırlı veya hiç olmadığı, bakım gerektirmeyen ve kendi kendine büyüme ve çoğalma özelliği gösteren bodur bitki türlerinin bulunduğu yeşil çatı türüdür. Mevsimsel döngülere uyum sağlayarak farklı bitki türleri veya büyüme özellikleri gösterebilirler ancak yoğun yeşil çatılara göre kullanılabilir bitki türü çeşitliliği daha azdır. Seyrek yeşil çatılar, esas olarak çevresel endişelere dayalı olarak tasarlanmaktadır. Dolayısıyla sosyal bir mekan yaratma, aktivite alanı oluşturma veya yapıya estetik değer katma amacı yoğun yeşil çatılar kadar taşımazlar. Bitkilendirme tabakasının alt katmanları 2-15 cm kalınlığındadır ve çatı yüzeyine verilen yük, yoğun yeşil çatılara göre daha azdır. Çatı üzerindeki yükün az olması sebebiyle yüksek eğimli çatılarda kullanımı mümkündür. Seyrek yeşil çatı doğal drenaj özelliklerini sağlamak için en az %1,5-2 eğimli olmalıdır. Bakım, sulama ve drenaj ihtiyacı bulunmamaktadır. Yapı kullanımı sırasında teknik bir eleman ihtiyacı bulunmamaktadır. Maliyet kıyaslaması yapıldığında yoğun yeşil çatılara göre çok daha ekonomiktir [2] [4].

2.3.2. Yoğun yeşil çatılar

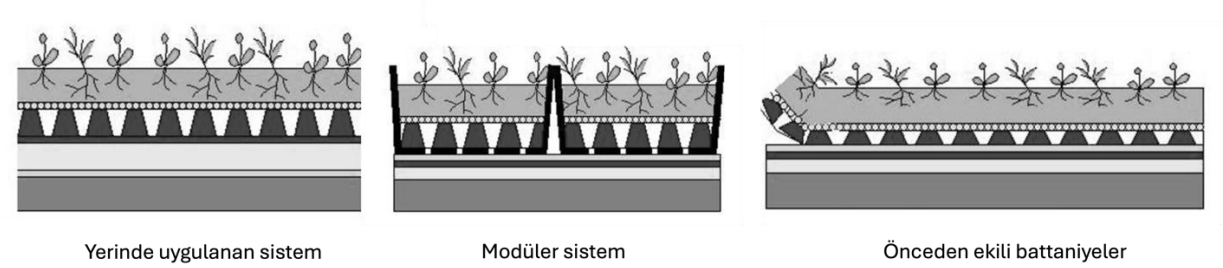
Yoğun yeşil çatılar, çatı katmanı üzerinde kullanılan bitkilerin en az 15 cm yüksekliğinde olduğu, sürekli bakıma ihtiyaç duyan, yükü eşit dağıtan ve alt katmanları dört metreye kadar ulaşabilen yeşil çatılardır. Seyrek yeşil çatılara kıyasla bitki çeşitliliği daha fazladır. Yoğun yeşil çatılarda sebze ve meyve üretimi, ağaç dikimi gibi çeşitli yeşil alanlar oluşturulabilir. Bitki örtüsüne bağlı olarak alt katmanların derinliği değişmektedir. Çatı bahçelerinde olduğu gibi, yoğun yeşil çatılarda da su ögesi olarak gölet alanları tasarlanabilmektedir [2].

Birçok canlı için yaşam alanı oluşturan yoğun yeşil çatılar, mekanın mikro iklimini değiştirerek sosyal alanlar yaratır. Yoğun bitkilendirilmiş bir yeşil çatı uygulanacak alanlarda yük tayini mutlaka yapılmalı ve sistem, proje aşamasında yapı tasarımına entegre edilmelidir.

Ayrıca yapı sahipleri ve kullanıcıları çatının bakımı konusunda bilgilendirilmeli ve gerekli bakım önerilerine hakim olmalıdır. Sulama ve drenaj ihtiyaçları karşılanmalıdır.

2.4. Yeşil Çatı Sistemleri

Yapıların çatı alanlarında bitkilerin büyümesi için uygun ortam koşullarının sağlanabilmesi adına alt katmanlar, bir bütün olarak birlikte çalışan bileşenlerden meydana gelir. Yeşil çatı sistemleri Şekil 2.1'de gösterildiği üzere yerinde uygulanan, modüler ve önceden ekili bitki battaniyeleri olmak üzere üç alt başlığa ayrılmaktadır [4].



Şekil 2.1 Yeşil çatı sistemleri [4].

2.4.1. Yerinde uygulanan

Yeşil çatı kurulum sistemlerinden biri olan yerinde uygulanan sistemler, her katmanın çatıya göre uygulandığı bir sistemdir. Bu sistem ile oluşturulan yeşil çatılarda sonradan değişiklik yapmak ya da onarım yapmak modüler sistemlere göre daha zordur. Kurulum aşaması her katmanın ayrı uygulanmasından dolayı daha uzun sürmektedir. Bu durum maliyetin diğer sistemlere göre daha yüksek çıkmasına sebep olmaktadır. Katmanlar en üstte bitkilendirme, toprak, filtre, drenaj, yalıtım ve taşıyıcı olacak şekilde düzenlenmektedir. Yerinde uygulanan sistemler, yapıya özgü tasarlanır ve inşa edilmektedir. İklim veya yapı gereksinimlerine göre bu katmanlarda değişiklikler yapmak mümkündür [4].

2.4.2. Modüler sistemler

Modüler sistemlerde bitkiler kapalı bir alanda yetiştirilip, büyüdükten sonra çatıya taşınır. Modüler sistemlerde toprak derinliği 7,5-30 cm arasındadır. Bu sistemler çatıya sonradan eklenen sistemlerdir. Dolayısıyla onarım gerektiren veya çatı görünümünün değiştirilmek istendiği durumlarda modüller farklı bitki türleri içeren modüller ile değiştirilebilir. Esneklik sağlaması ve kurulumun kolay olması bu sistemlerin tercih sebebidir. Modüller ayrık bitki örtüsüne sahip sistemlerdir. Şekil 2.2'de gösterildiği gibi siyah plastik modüllerden oluşmaktadır. Bu birimlerin alanı 0,4 m^2 ila 1,5 m^2 arasında değişmektedir [4].



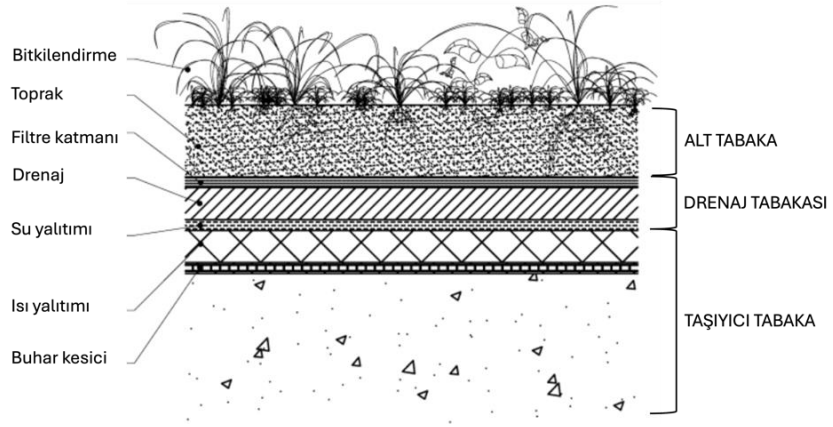
Şekil 2.2 Yeşil çatı sistemleri [4].

2.4.3. Önceden ekili bitki battaniyeleri

Önceden ekili bitki battaniyeleri, kurulum olarak modüler sistemlere benzemektedir. Farklı alanda yetiştirilen bitki paspasları istenilen genişlikteki şeritlerin rulo haline getirilerek; mevcut çatı üzerine yerleştirilir. Bitki çeşidi diğer sistemlere göre daha azdır ve genellikle su içeriği yüksek olan bitkiler tercih edilmektedir. Dik çatılarda veya rüzgar yükü fazla olan bölgelerde tercih edilmektedir [4].

2.5. Yeşil Çatı Katmanları

Yapılan araştırmalar yeşil çatılar Şekil 2.3'te örnek bir kesit üzerinde verildiği gibi bitkilendirme, toprak, filtre katmanı, drenaj, su yatılımı ve kök tutucu, ısı yalıtımı ve buhar kesici olmak üzere yedi ana bileşenden meydana geldiğini göstermektedir [7].



Şekil 2.3 Yeşil çatı katmanlarına ait detay [7].

En üst katman olan bitki tabakası atmosferik koşullara açıktır ve seçiminde ekolojik koşullar dikkate alınmalıdır. Uzun yıllar yaşayabilen, bölgenin iklim koşullarına uyumlu bitkiler tercih edilmelidir. Bitki tabakasının altında yetişme ortamı sağlayan organik bileşenlerden meydana gelen toprak tabakası bulunmaktadır. Yetiştirme tabakasının içeriği üzerindeki bitkinin uzun yıllar yaşamasını sağlamaktadır. Ayrıca dona ve yangına dayanıklı olması gerekmektedir. Bitkilendirme ve toprak tabakasından sızan ve filtre tabakası tarafından süzülen su değerlendirilerek, yağmursuz günler için tekrar kullanım için depolanmaktadır. Ancak ihtiyaç duyulandan fazla su sebebiyle bitkilerin çürümesini engellemesini önlemek için drenaj katmanında tahliye edilmesi gerekmektedir. Drenaj tabakasının altında bulunan koruyucu

katman ısı ve su yalıtımı gibi malzemeleri mekanik etkilere karşı korumaktadır. Bitki köklerinin zamanla alt tabakada bulunan malzemelere zarar vermemesi için kök tutucu zorunlu bir katmandır. Kök tutucu katmanı ayrı olarak eklenebildiği gibi, bitki köklerine karşı dirençli olan su yalıtımı gibi malzemelerde tercih edilebilir. Bitkilendirme ve toprak katmanı ile yapının ısı kaybı azaltılmış olsa dahi ek bir ısı yalıtım katmanına ihtiyaç duyulabilmektedir. Isı yalıtım malzemesinin sıcak ve soğuk havanın temas ettiği yüzeyinde yoğuşma olmaması için buhar kesici katmanı bulunmaktadır. En alt kısmında binanın ve tüm malzemelerin taşıyıcılığını sağlayan konstrüksiyon katmanı bulunmaktadır [2] [5].

2.6. Yeşil Çatı Tasarımında ve Uygulamasında Karşılaşılan Problemler

Yeşil çatıların çevresel, ekonomik ve sosyal alanlarda birçok avantajı olmasının yanı sıra, özellikle uygulama ve tasarım sürecinde bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Yeşil çatı uygulamalarında lojistik, karşılaşılan başlıca sorunlardan biridir. Doğal olmayan, tasarlanmış bahçeler oldukları için malzemelerin üst kotlara taşınması gerekmektedir. Bu lojistik zorluklar, yapı inşasında ek maliyetlere yol açmaktadır [4].

Yeşil çatı uygulamalarında doğru bitki seçimi büyük önem taşımaktadır. Tasarım aşamasında bölgenin iklim koşulları ve bakım gereksinimleri göz önünde bulundurulmalıdır. Özellikle yoğun yeşil çatılarda, fazla su isteyen veya iklime uygun olmayan bitkilerin seçilmesi çevresel faydadan çok zarar verebilir. Ayrıca, bakım ve uzman teknik ekibe duyulan ihtiyaç nedeniyle maliyetler de artmakta ve bu durum ekonomik bir kayba yol açabilmektedir. Yeşil çatı kurulumunda, bitkilendirme tabakasının beslenmesi için toprak katmanı, filtre, drenaj katmanı ve yalıtım katmanları bulunmaktadır. Bu katmanlar hem seyrek hem de yoğun yeşil çatılarda yapıya ek yük getirmektedir. Dolayısıyla, özellikle yoğun yeşil çatılar için tasarım aşamasında bu yük hesaplara dahil edilmelidir [4].

Yapıların yangın güvenliği, yönetmeliklere tabi olup birçok önlem alınarak sağlanmaktadır. Ancak, yeşil çatılarda yangın riski artabilir. Bu nedenle, yangın riskini azaltmaya yönelik önlemler, yeşil çatı uygulamalarında daha kapsamlı hale getirilmelidir. Ot yangınlarını önlemek için 40 metre ara ile en az 30 cm yüksekliğinde yangın direnci yüksek malzeme ile yangın kırıcı yerleştirilmelidir. Ayrıca yüksek su içeriğine sahip yangın geciktirici sedumların kullanılması gerekmektedir. Çatı pencereleri ile çatı konturlarına 50 cm genişliğinde çakıl bir bant konulmalıdır [4].

Çatının gezilebilir olması durumunda, ziyaretçilerin yüksekten düşme tehlikesine karşın çatı kenarlarına en az üç metre mesafede koruma bariyerleri yapılmalıdır. Çatı parapet yüksekliği korkuluk seviyesinde en az 100 cm yapılmalıdır. Havalandırma, ısıtma ve soğutma cihazlarının çatıda konumlandırılması gerektiği durumlarda, yeşil alanların seçimine dikkat edilmelidir. Havalandırma kanallarından çıkan gazlar bitkilere zarar verebilir. Bu olumsuzlukları önlemek için cihazların yerleşimi tasarım aşamasında dikkatlice planlanmalı ve düzenli bakım yapılmalıdır. Güneş enerjisinden faydalanmak amacıyla çatı yüzeylerine yerleştirilen paneller, genellikle çatı üzerinde gölgeler oluşturur. Bu nedenle, gölgeli alanlar

için bitki seçimi özenle yapılmalıdır. Ayrıca, yeşil çatı bulunan yapının etrafında daha yüksek yapıların bulunması, bitkilerin yeterli güneş ışığı alamamasına neden olabilir. Tasarım aşamasında çevredeki yapılar göz önünde bulundurularak, bitkilerin gün ışığından optimum şekilde faydalanması sağlanmalıdır [4].

Çatı yüzeyinde suyun drenajını sağlamak için minimum %2 eğim verilmelidir. Eğimin en üst noktasındaki daha az, en alt noktasında daha çok çatı suyu birikecektir. Bitki türleri, bu nem farklılıkları dikkate alınarak seçilmelidir ya da uygun sulama sistemi ile çatı eğiminden dolayı meydana gelen su farklılıkları çözülmelidir. Rüzgar yükünün fazla olduğu bölgelerde, bitkiler ilk kurulum aşamasında köklerinin zayıf olması nedeniyle zarar görebilir. Rüzgarın bitkilere vereceği zararları önlemek için jeotekstil malzemelerden üretilmiş rüzgar battaniyesi kullanılmalıdır. Bu battaniye üzerindeki delikler sayesinde rüzgar yavaşlatılarak bitkilere ulaşırken, aynı zamanda büyüme sürecinde besin takviyesi görevi de görmektedir [4].

2.7. Yeşil Çatıların Sürdürülebilirliğe Katkısı

Yeşil çatılar ekonomik, çevresel ve sosyal sürdürülebilirliğe birçok yönden katkı sağlamaktadır. Yeşil çatılarda, depolama sistemleri ve ek malzeme katmanları gibi etmenler nedeniyle ilk yatırım maliyetleri daha yüksek olabilir. Ancak yapı ömrü göz önünde bulundurulduğunda, yeşil çatıların sağladığı ekonomik avantajlar, bu yüksek maliyetleri zamanla telafi ederek daha fazla kazanç sağlar. Enerji verimliliği sağlayan yeşil çatılar, enerji bazında ekonomik kayıpların azalmasına katkı sağlar. Malzemeleri koruyan yeşil tabaka, yapı malzemelerinin ömrünü uzatarak daha az bakım ve onarım gerektirmesini sağlar [6]. Çatılarda bitirme elemanı olarak kullanılan su yalıtım membranları, ultraviyole (UV) ışınlarına maruz kaldığında hızla bozulur ve bu da membranların kırılgan hale gelmesine yol açar. Yeşil çatılar, UV ışınlarına karşı fiziksel bir koruma sağlayarak su yalıtım membranının ömrünü 20 yıldan fazla uzatır. Berlin'deki bazı yeşil çatılar, büyük onarımlar gerektirmeden 90 yıl boyunca kullanılabilmiştir. Kanada'nın Ottawa kentinde yapılan bir çalışmada ise, yaz mevsiminde bitkilendirilmemiş çatılar 70°C'den daha yüksek sıcaklıklara ulaşırken, yeşil çatılarda yüzey sıcaklığı yalnızca 30°C'ye çıkmıştır [8]. Ayrıca, yağmur sularını toplayıp tekrar kullanabilme özelliği sayesinde altyapı kaynaklı ekonomik kayıpları azaltır [6]. Yeşil çatılar, tasarım, uygulama ve bakım süreçlerinde teknik eleman ihtiyacı doğurduğundan bir istihdam kaynağı oluşturur. Sürdürülebilirliğe katkı sağlamanın yanı sıra farklı işlevlere de hizmet ederek ekonomik faydalar sunar. Bazı yeşil çatılar, tarımsal aktiviteler için kullanılarak gıda üretimine katkıda bulunabilir. Böylece ekonomik alanda da ek faydalar sağlar [8].

Günümüzün en önemli problemlerinden biri olan enerji, yeşil çatılar sayesinde daha verimli kullanılmaktadır. Yeşil çatılar, binaların soğutma ve ısıtma yüklerini azaltarak enerji tasarrufu sağlar. Böylece enerji verimliliği artırılır ve ekonomik yüklerin azalmasına katkıda bulunur. Ayrıca, enerjinin verimli kullanımı karbon ayak izinin düşürülmesine yardımcı olur. Bitki örtüsü güneş ışınlarını absorbe ederek serin bir iklim ortamı oluşturur. İklim değişiminin ve doğal afetlerin temel sebeplerinden biri olan kentsel ısı ada etkisinin artmasını azaltır. Böylece

yapılardan kaynaklı ekosistem bozulmalarını azaltır. Yeşil çatılardaki bitki örtüsü, kentlerde üretilen karbondioksiti emerek azaltır. Ayrıca hava kirleticilerini filtreleyerek hava kalitesinin iyileştirilmesini sağlar. Ayrıca biyoçeşitliliğe katkı sağlayarak canlılar için yaşanabilir alanlar oluşturur [8].

Kentsel alanlar sert ve geçirimsiz yüzeylerin hakim olduğu bölgeler olup, bu yüzeyler yoğun yüzey akışına neden olarak mevcut yağmur suyu yönetim sistemlerini aşırı yükleyebilir ve kanalizasyon taşkınlarının göl ve nehirlere karışmasına yol açabilir. Kentsel yüzey akışı, yalnızca sel, erozyon ve tortu birikimini artırmakla kalmaz, aynı zamanda pestisitler ve petrol kalıntıları gibi kirleticiler bakımından da zengindir. Bu kirleticiler, vahşi yaşam habitatlarına zarar vererek ekosistemleri tehdit eder ve içme suyu kaynaklarını kirletebilir [8].

Şehirlerdeki yeşil alanların azalması beton yüzeylerin artması, suyun toprak tarafından emilimini engellemektedir. Altyapı sistemlerinde olan eksiklikler veya hatalı uygulamalar sonucu sellerin etkisi artırmaktadır. Kentleşmenin hızla arttığı şehirlerde kapasiteyi karşılamayan kanalizasyon ve drenaj sistemleri, aşırı yağışlar sırasında taşkınların önüne geçememektedir. Bu gibi durumlar hem ekonomik hem de sosyal problemlere neden olmaktadır. Yeşil çatılar yağmur suyunun emilimini artırarak şehirlerdeki sel riskini azaltır. Ayrıca su kaynaklarının korunmasına yardımcı olur ve kanalizasyon sistemine olan yükü hafifletir [3]. Kentsel ortamlarda yeşil çatılardaki bitki örtüsü, geçirimsiz yüzeylere alternatif oluşturmaktadır. Gelen radyasyon geçirimsiz yüzeylerden yansıyarak ısı ada etkisine sebep olur. Toronto'da %50 bitki kaplamasıyla yapılan bir çatı simülasyonunda sıcaklık düşüşlerinin 2°C'ye kadar ulaştığını görülmektedir [8]. Ayrıca Almanya'da yürütülen bir çalışmada 10 cm kalınlığında toprak katmanına sahip yeşil çatıların radyasyonu %90 oranında azaltmıştır [6].

Yeşil çatılar, çatı yüzeylerinden geçen ısı miktarını azaltarak binanın ısıtma ve soğutma sistemi üzerindeki enerji yüklerini azaltır. Japonya'da yeşil çatıya sahip bir yapının yıllık ısı kazancı %50 olduğu, Madrid'deki bir çalışmada ise yaz aylarında sekiz katlı bir konut binasının soğutma yükünün %6 oranında azalttığı görülmüştür. Yaz aylarında, yeşil çatılar fiziksel olarak yapıyı gölgelendirir, termal kütleyi artırarak çatıdan geçen ısıyı düşürür ve ısı yalıtımı yapar [8]. Ayrıca kentsel alanlarda beton yüzeylerden yansıyan ses dalgaları gürültü kirliliğine sebep olmaktadır. Bitki katmanı ses dalgalarını emerek ve içeriye ses iletimini engelleyerek ses kirliliğini de azaltır [6].

Yeşil çatılar kentsel alanlarda biyoçeşitliliği sağlamakta ve birçok canlı için yaşam alanı oluşturmaktadır. Genellikle böcekler, karıncalar, sinekler, arılar, örümcekler ve yaprak bitleri gibi çeşitli böcek türleriyle doludur. Biyoçeşitliliği arttırmakla birlikte kentlerde yaşayan insanlar için estetik ve psikolojik faydalar da sağlamaktadır. Yeşil çatılar yalnızca görsel bir rahatlama olarak erişilebilir olduğunda bile insan sağlığını iyileştirebilir. Kentsel bir karbon yutağı olan yeşil çatılar havada bulunan kirleticileri tutarak hava kalitesini iyileştirme etkisi de bulunmaktadır [8].

Kentlerde arsaların değerli olmasından dolayı yeşil alanların payları çok düşüktür. Yeşil alanların azlığı hem fiziksel hem de psikolojik sorunlara yol açmaktadır. Roger Ulrich, 1984 yılında gerçekleştirdiği bir araştırmada, hastane odalarında pencereden doğa manzarası gören hastaların, duvar görenlere kıyasla daha hızlı iyileştiklerini ve daha az ağrı kesiciye ihtiyaç duyduklarını göstermiştir. Bu çalışma, doğa manzaralarının stres azaltıcı etkisini kanıtlayan önemli bir deney olarak kabul edilir. Ameliyat sürecinde iyileşmekte olan hastalar üzerinde yapılan bu deneyde, bir grup hasta doğa manzarasına, diğer grup ise beton yüzeylere bakan odalara yerleştirilmektedir. Birinci gruptaki hastalar daha az stres seviyesine sahip olduklarını belirtirken; daha az ağrı kesici kullanmışlar ve hızlı bir iyileşme süreci göstermiştir. Ulrich'in bu çalışması, çevresel psikoloji alanında çığır açıcı bir araştırma olarak kabul edilir. Hastane ortamlarında doğa manzaralarının hastaların iyileşme süreçleri üzerindeki olumlu etkilerini göstererek, sağlık tesislerinin tasarımında doğa unsurlarının önemini vurgulamıştır [9]. Doğa seslerinin insan refahı üzerine etkilerini ölçmeyi hedefleyen diğer bir çalışma 2016 yılında California Polytechnic State University araştırmacıları tarafından yürütülmüştür. Bu çalışmada, araştırmacılar yürüyüş parkurlarına gizli hoparlörler yerleştirerek kuş cıvıltıları gibi doğa seslerini çalmış ve katılımcıların bu seslere maruz kaldıklarında daha huzurlu hissettiklerini tespit etmişlerdir [10]. Özetle doğaya sadece bakmak ve/veya duymak dahi refah düzeyi üzerine pozitif etkisi bulunmaktadır. Yeşil çatılar insanların nefes alacakları, dinlenebilecekleri, aktivitelerini gerçekleştirebilecekleri alanlar olarak alternatif oluşturmaktadır [6].

3. PROJELER

Yeşil çatılar daha önce bahsedildiği üzere bölgenin hava kalitesini iyileştirme, kentsel ısı ada etkisini azaltma, yağmur suyunu tutarak şehirlerin altyapısına binen yükü hafifletme, biyolojik çeşitliliği arttırma, sosyal alanları arttırma, enerji verimliliği, malzemelerin ömrünü arttırma ve ekolojik dengeyi destekleme gibi faydalar sağlamaktadır. Dolayısıyla, Türkiye'de yeşil çatı uygulamaları artmıştır [4]. Ancak ekonomik sorunlar sebebiyle konu ile ilgili yeterli çalışma yapılamamaktadır. Türkiye'de kullanılan yeşil bina malzeme ve detayları, diğer ülkelerin iklimsel koşullarına göre üretilmiştir. Başka ülkelerin iklimsel verilerine bağlı olarak hazırlanmış, çözümler, Türkiye yerel şartlarına uygunluk sağlamak konusunda yetersiz kalmaktadır [2].

Bu bölümde Türkiye'de yer alan ve yeşil çatıya sahip yapılar hakkında genel bilgiler, mimari tasarım özellikleri ve yeşil çatı özelliklerine yer verilerek örnekler incelenmiştir. İncelenen yapılar aşağıda verildiği şekildedir.

- Ümraniye Meydan Projesi, İstanbul
- Turkcell AR-GE Binası, Gebze
- Garanti Bankası Teknoloji Kampüsü, İstanbul
- Şişecam AR-GE Merkezi, Gebze
- Kanyon Alışveriş Merkezi, İstanbul

- Zorlu Center, İstanbul

3.1. Ümraniye Meydan Projesi

Ümraniye Meydan Projesi, 2007 yılında FOA Mimarlık tarafından tasarlanan ve 30.000 m² yeşil çatı alanına sahip bir alışveriş merkezi olarak inşa edilmiştir. Çatının 16.000 m²'lik alanı düz fakat erişilemez, 1.250 m²'lik alanı düz ve erişilebilir, 11.900 m²'lik kısmı %25 eğimli, 1.500 m²'lik kısmı ise %35 ve üzeri eğime sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. Eğimin fazla olduğu bölgelerde, bitkilerin yaşayabileceği ve toprağı tutmaya yardımcı olan georastlar kullanılmaktadır. Yoğun ve seyrek bitkilendirilmiş alanlardan oluşan tam sistemli bir yeşil çatıdır. Proje, dünyanın tek alanda en büyük yeşil çatısına sahip yapısıdır. Yeşil çatı değerlendirme kriterleri kapsamında ekolojik, ekonomik ve sosyal alt başlıklardan toplamda 10 puan almıştır (Şekil 3.1) [4].



Şekil 3.1 Ümraniye Meydan Projesi.

3.2. Turkcell AR-GE Binası

Turkcell AR-GE Merkezi, 2008 yılında Erginoğlu-Çalışlar Mimarlık tarafından tasarlanan ve 2.500 m² yeşil çatı alanına sahip özel bir telekomünikasyon firması için tasarlanmış ve inşa edilmiştir. Yapı inşaat alanı olarak kullanılan miktar kadar çatının yüzeyi çim kaplanmış ve rekreasyon alanı olarak kullanılmıştır. Seyrek bitkilendirilmiş alanlardan oluşan bir yeşil çatıdır. Yeşil çatı değerlendirme kriterleri kapsamında ekolojik, ekonomik ve sosyal alt başlıklardan toplamda dokuz puan almıştır (Şekil 3.2) [2] [11].



Şekil 3.2 Turkcell AR-GE Binası [12].

3.3. Garanti Bankası Teknoloji Kampüsü

Garanti Bankası Teknoloji Kampüsü, 2018 yılında Era Mimarlık tarafından tasarlanan ve 142.000 m² inşaat alanına sahip ofis ve sosyal işlev içeren bir kampüs olarak inşa edilmiştir.

Çevre dostu yaklaşımlarla şekillenen proje LEED Gold sertifikası almaya hak kazanmıştır (Şekil 3.3) [13].



Şekil 3.3 Garanti Bankası Teknoloji Kampüsü.

3.4. Şişecam AR-GE Merkezi

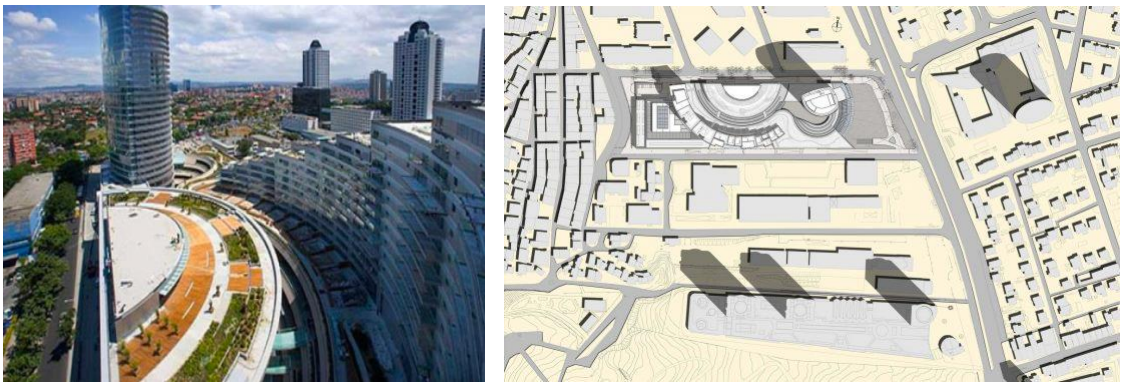
Şişecam Ar-Ge Merkezi, 2014 yılında ERBUĞ Mimarlık & Boran Ekinci Mimarlık tarafından tasarlanan ve 9.400 m² inşaat alanına sahip bir iş merkezi olarak inşa edilmiştir. Tesisin çatısının %80'i yeşil çatı olarak tasarlanmıştır. Yeşil çatı tasarımına ek olarak, merkezde 457 m²'lik çatı alanına 87,45 kWp gücünde bir güneş enerjisi santrali kurulmuştur. Hak kazandığı LEED Gold sertifikasıyla standart bir binaya göre %39 daha az enerji ve %85 daha az su tüketmektedir (Şekil 3.4) [14].



Şekil 3.4 Şişecam AR-GE Merkezi.

3.5. Kanyon Alışveriş Merkezi

Kanyon alışveriş merkezi, 2006 yılında Tabanlıoğlu Mimarlık tarafından tasarlanan ve 250.000 m² inşaat alanına sahip bir alışveriş merkezi, ofis ve konut olarak inşa edilmiştir. Tesisin çatısının 16.000 m²'lik alanı yeşil çatı olarak tasarlanmıştır. Seyrek bitkilendirilmiş alanlardan oluşan tam sistemli bir yeşil çatıdır (Şekil 3.5) [5].



Şekil 3.5 Kanyon Alışveriş Merkezi.

3.6. Zorlu Center

Zorlu Center Projesi, 2013 yılında EAA-Emre Arolat Architecture ve Tabanlıoğlu Mimarlık tarafından tasarlanan ve 60.000 m² yeşil çatı alanına sahip bir alışveriş merkezi olarak inşa edilmiştir. Betonarme üzerinde 20 cm altyapı sistemi bulunan seyrek bitkilendirilmiş alanlardan oluşan tam sistemli bir yeşil çatıdır. Zorlu Center'da yeşil çatıda kullanılan ağaçların 2.500 tanesi her mevsim yeşil kalan, 1.250 tanesi yaprak döken olmak üzere; toplam 3.750 adet ağaç, 60.000 adet çalı, 500.000 adet çok yıllık bitki kullanılmıştır (Şekil 3.6) [15].



Şekil 3.6 Zorlu Center.

4. SONUÇ VE TARTIŞMA

Yeşil çatılar, çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada önemli bir araçtır. Doğru planlama, uygun tasarım ve düzenli bakım ile bu sistemler, şehirlerin çevreye olan olumsuz etkilerini azaltabilir. İklim değişikliğiyle mücadele ve doğayla uyumlu bir yaşam için yeşil çatılar, geleceğin vazgeçilmez çözümleri arasında yer almaktadır [3].

Uluslararası alanda, yerel yönetimlerin teşvikiyle kentsel ölçekte yeşil çatı uygulamaları geliştirilmektedir. Türkiye'de yeşil çatı uygulamaları son yıllarda artış gösterse de yerel malzemeler ve iklim koşullarına uygun çözümler geliştirilerek bu uygulamaların yaygınlaştırılması gerekmektedir. Yoğun bitkilendirilmiş yeşil çatı uygulamalarından çevresel açıdan daha fazla fayda sağlanmasına rağmen; Türkiye'de uygulanan yeşil çatı projeleri incelendiğinde, yeşil çatı teknolojisinin henüz gelişmekte olması, düşük maliyet ve daha az

bakım gereksinimi nedeniyle yoğun bitkilendirilmiş çatılar yerine genellikle seyrek bitkilendirilmiş çatılar tercih edilmektedir.

Yeşil çatıların diğer bölümlerde bahsedilen pozitif katkılarına karşın, yeşil çatıya sahip yapılar sınırlı sayıdadır. Yeşil çatı sisteminin yaygınlaştırılamaması, yerel iklim koşullarına uygun bitki ve çözümlerin yetersiz olması, uygulama ve sonrası ortaya çıkan bakım maliyetleri yeşil çatıların yayınlaşmamasına sebep olmaktadır. Zorlu Center projesinde yeşil çatıların bakımı için 20 kişilik sürekli uzman istihdamı buna örnek olarak gösterilebilir. Almanya gibi bazı ülkelerde, yeşil çatıların çevresel faydalarından dolayı uygulanması yasal olarak zorunlu tutulmuştur. Türkiye'de de benzer değerlendirmeler yapılarak, belli kriterlere dayalı yerel sertifika programları ile bu uygulamalar teşvik edilmelidir. Ayrıca, yeşil çatı uygulamalarının geliştirilmesi amacıyla kurulmuş birçok kurum bulunmaktadır. Bu kuruluşlar her yıl çeşitli seminerler ve çalıştaylar düzenlemektedir. Türkiye'de özel sektör, kamu kurumları ve üniversitelerin bu çalışmalara katılımı teşvik edilmeli ve bilimsel gelişime katkı sağlanmalıdır.

Bunun yanı sıra, yeşil çatı uygulamaları çevresel faydalarıyla firmaların marka imajını olumlu yönde etkilemektedir. Yeşil bina sistemleri geleneksel uygulamalara göre inşaat yatırımını %2 oranında daha yüksek maliyet oluştururken; bina ömrü boyunca bu artışın 10 katı kadar kazanç sağlamaktadırlar. Yeşil çatılar sahip oldukları çevresel, sosyal ve ekonomik faydaları ile insan yaşamına pozitif katkısı göz önüne alınarak, doğal ve yaşanabilir bir çevreye katkı sağlayan önemli bir araç olarak planlanmalıdır [5].

KAYNAKLAR

[1] B. Türkmen, *Türkiye'de Sürdürülebilir Bina Sertifikalı ve Yerel Mevzuata Göre İnşa Edilmiş Sanayi Yapılarında Kabuk Elemanlarının Çevresel Etki Değerlendirmesi,* İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2019.

[2] N. Tohum, *Sürdürülebilir Peyzaj Tasarım Aracı Olarak "Yeşil Çatılar",* İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2011.

[3] M. Doğru, «Yeşil Cepheler, Dikey Bahçeler ve Çatılar Nedir?,» Ecobuild, 7 Haziran 2022. [Çevrimiçi]. Available: https://www.ecobuild.com.tr/post/yeşil-cepheler-dikey-bahçeler-ve-çatılar-nedir. [Erişildi: 9 Ocak 2025].

[4] E. Erkul, *Yeşil Çatı Sistemlerinin Yapım Açısından İrdelenmesi,* İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2012.

[5] E. Akpınar Külekçi, «Geçmişten günümüze yeşil çatı sistemleri ve yeşil çatılarda kalite standartlarının belirlenmesine yönelik bir araştırma,» *ATA Planlama ve Tasarım Dergisi,* cilt 1, no. 1, pp. 35-53, 2017.

[6] B. B. Aras, «Kentsel sürdürülebilirlik kapsamında yeşil çatı uygulamaları,» *MANAS Sosyal Araştırmalar Dergisi,* cilt 8, no. 1, pp. 469-504, 2019.

[7] H. T. Rakotondramiarana, D. Morau ve T. F. Ranaivoarisoa, «Dynamic simulation of the green roofs impact on building energy performance, case study of Antananarivo, Madagascar,» *Buildings,* cilt 5, pp. 497-520, 2015.

[8] E. Oberndorfer et al., «Green roofs as urban ecosystems: Ecological structures, functions, and services,» *BioScience,* cilt 57, no. 10, pp. 823-833, 2007.

[9] R. Ulrich, «View through a window may influence recovery from surgery,» *Science,* cilt 224, no. 4647, pp. 420-421, 1984.

[10] California Polytechnic State University (Cal Poly), «Feeling Good On Your Hike? It Might Be the Birds, Cal Poly Study Finds,» 15 July 2021. [Çevrimiçi]. Available: https://www.calpoly.edu/news/feeling-good-your-hike-it-might-be-birds-cal-poly-study-finds. [Erişildi: 28 February 2025].

[11] Erginoğlu&Çalışlar, «Turkcell Ar-Ge Binası,» Ecarch, 2024. [Çevrimiçi]. Available: https://ecarch.com/projeler/turkcell-ar-ge/. [Erişildi: 08 Mart 2025].

[12] F. Seçer Kariptaş, «Yeşil çatıların ekoloji bağlamında değerlendirilmesi ve Turkcell Ar-Ge binası örneği,» %1 içinde *5. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu*, İzmir, 2010.

[13] İ. B. Çelik, «Garanti BBVA Teknoloji Kampüsü,» Arkitektuel.com, 2020. [Çevrimiçi]. Available: https://www.arkitektuel.com/garanti-bbva-teknoloji-kampusu/. [Erişildi: 08 Mart 2025].

[14] «Şişecam Bilim, Teknoloji ve Tasarım Merkezi,» Şişecam, [Çevrimiçi]. Available: https://www.sisecam.com/tr/basin-bultenleri/sisecam-toplulugu-ndan-ikinci-gunes-enerjisi-santrali?utm_source. [Erişildi: 08 Mart 2025].

[15] «Zorlu Center ve Yeşil Çatılar,» 2015. [Çevrimiçi]. Available: https://www.cativecephe.com/yayin/682/zorlu-center-ve-yesil-catilar_20411.html. [Erişildi: 08 Mart 2025].

KENT MEKÂNINDA GÖÇÜN ETKİLERİ: YENİDEN ÜRETİLEN KENTSEL YOKSULLUK, SOSYAL DIŞLANMA VE MEKÂNSAL AYRIŞMA

THE EFFECTS OF MIGRATION ON URBAN SPACE: REPRODUCED URBAN POVERTY, SOCIAL EXCLUSION, AND SPATIAL SEGREGATION

Ezgi ÇIKRIKÇI
Öğr. Gör., İstanbul Beykent Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, İç Mekan Tasarımı Programı
Lect., İstanbul Beykent University, Vocational School, Interior Design Program
ORCID ID: 0000-0001-7857-239X

Betül TÜRKMEN
Öğr. Gör., İstanbul Beykent Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, İç Mekan Tasarımı Programı
Lect., İstanbul Beykent University, Vocational School, Interior Design Program
ORCID ID: 0000-0002-4781-7304

ÖZET

Bu çalışma son yıllarda küreselleşme ve neo-liberal politikalar sonucu hızlı değişim geçiren ve yoğun göç alan kentleri yoksulluk, sosyal dışlanma ve mekânsal ayrışma üçgeninde incelemeyi amaçlamaktadır. Kenti şekillendiren önemli faktörlerden olan bu üç kavram birbiriyle iç içe geçmiş ve birbirini sürekli yenileyerek var eden bir döngü oluşturmaktadır. Kentler sahip oldukları dinamizm ile sürekli gelişip dönüşürken bu faktörler değişimin belirleyici unsurları konumundadır. Göç ile birlikte kentlerde artan nüfus kentte siyasal, sosyal, ekonomik ve kültürel yeni sorunları meydana getirerek kentsel yoksulluğu sürekli yeniden üretilen bir kavram olarak karşımıza çıkarmaktadır. Dolaysıyla iç ve dış göçlerle daha da artan kentsel yoksulluk çok boyutlu ve çözülmesi zaruri bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır.

Anahtar Kelimeler; Göç, Kentsel Yoksulluk, Mekânsal Dışlanma, Sosyal Dışlanma

ABSTRACT

This study aims to examine cities that have undergone rapid transformation due to globalization and neo-liberal policies in recent years, focusing on the triangle of poverty, social exclusion, and spatial segregation. These three concepts—significant factors shaping the urban environment—are deeply intertwined and form a cyclical structure that continuously reproduces itself. While cities evolve and transform with their inherent dynamism, these factors serve as key determinants of change. Migration, in particular, contributes to population growth in urban areas, giving rise to new political, social, economic, and cultural challenges. As a result, urban poverty emerges as a constantly reproduced

phenomenon. Hence, urban poverty, which is further exacerbated by both internal and external migration, stands out as a multidimensional issue that urgently requires resolution.

Keywords: Migration, Urban Poverty, Spatial Exclusion, Social Exclusion

1.GİRİŞ

Günümüzdeki en büyük sorunlardan biri olan göç olgusu, küreselleşmeyle birlikte etkilerini giderek arttırmış, toplumsal değişim ve dönüşümün en önemli etkenlerinden biri olmuştur. Sadece bir nüfus hareketi olarak tanımlanmaması gereken göç, daha iyi yaşam koşulları düşüncesiyle bireyleri gelişmemiş veya az gelişmiş ülkelerden gelişmiş ülkelere veya şehirlere yönlendirir. Bu durumun savaş, ekonomik sebepler, yetersiz yaşam koşulları gibi birçok sebebi olabilir (Tümtaş & Ergun, 2016). Göç, göç eden bireylerde olduğu kadar göç edilen yerde de bir dizi değişikliğe neden olur. Kentin sosyal ve mekânsal yapıları bu değişiklikten en çok etkilenen ve gözlemlenebilen mekanizmalarıdır.

Göç ile birlikte kent mekânının ve sosyal yapının dönüşmesi tarih boyunca var olsa da bugünkü şeklini alması kapitalizmin hızla yükselişi ile yakından ilişkilidir. Kapitalizm ile birlikte tarım yerini sanayiye bırakmış köyden kente kitlesel göç hareketlerini başlatmıştır. Bununla beraber kentlerde konut sorunu, enformel sektörün gelişmesi, güvencesiz işlerde çalışma, mekânsal ve toplumsal farklılaşma ve tabakalaşma gibi kent yoksulluğunun temelini oluşturan sorunlar ortaya çıkmıştır.

Refah devletinin çökmesi ile 1970'ler, konut sorunu, işsizlik, kentteki çeşitli hizmetlerden dışlanma gibi sorunları beraberinde getirmiş ve kentsel yoksulluk ivmelenmiştir. 1980'li yıllarda ise artan neo-liberal politikalar, kent mekânının küresel sermaye kontrolüne girmesi, devletin eşitsiz mekânsal gelişmelere müdahele etmemesi/edememesi, enformel toplulukların ortaya çıkışı kentlerde sosyal ve mekânsal ayrışmayı derinleştirmiştir (Kaygalak, 2001). 1980'lerdeki göç hareketleri, 1990'larda ülkenin doğusundaki çatışmalarla birlikte doğudan batıya doğru giderek artmıştır. Bu durum kentlerdeki sorunlarında giderek büyümesine neden olmuştur.

Türkiye'nin kendi içindeki göç hareketlerinin yanısıra, 1989 Bulgaristan göçü, 2011'de başlayıp hala devam eden Suriye göçü gibi zorunlu göç hareketleri de mekânsal ve toplumsal yapıyı değiştirmiştir.

Göçlerin sebepleri sosyo-mekansal ve toplumsal yapı üzerindeki etkilerini şekillendirmektedir. İstemli göçlerde entegrasyon ve bütünleşme daha uyum içerisinde gerçekleşirken, istemsiz veya zorunlu göç kapsamında göç edenlerin göç edilen yere uyumu zor olmaktadır. Göçmenlerin sahip oldukları kültür de uyumun öncü faktörlerindendir (Tümtaş & Ergun, 2016). Göç sonrası yaşanan uyum veya uyumsuzluk sosyal ve mekânsal yapı üzerinden keskin bir şekilde okunabilmektedir.

İyi yönetilebilen göç, süreç sonunda göç eden kişiye ve yere birçok olumlu girdi bırakabilecek potansiyele sahiptir. Aksi durumda ise göçün kent mekanında ve bireyler üzerinde yoksulluk, sosyal ve mekânsal dışlanma gibi olumsuz etkileri gözlenebilmektedir.

Bu çerçevede çalışmanın amacı, göç kavramını kavramsal olarak ele alarak, göçün sosyal ve mekânsal yapıya olan etkilerini vurgulamak, göç ve kentsel yoksulluk ilişkisi üzerinden sosyal dışlanmayı tanımlayarak konuya açıklık getirmektir. Kent yoksulluğunun bir sonucu olarak ortaya çıkan sosyal dışlanmanın, iyi yönetilmeyen göç süreçleri ile kent yoksulluğunu yeniden üretmesi çalışmanın temel problemidir.

2. TÜRKİYE'DE GÖÇ VE KENTSEL YOKSULLUK

Kentsel yoksulluk günümüz kentlerinde artan göçlerle birlikte daha da görünür hale gelen bir olgudur. Göçün kentsel yoksulluk için itici bir göç olması ve kentsel yoksulluktan en çok göçmenlerin etkilenmesi, göç ve kentsel yoksulluk arasındaki ikili ilişkiyi tariflemektedir (Kaygalak, 2001).

Yaşamakta olduğu mekânı daha iyi bir yaşam ideali için terkeden veya terketmek zorunda kalanların coğrafi hareketliliği olarak tanımlanan göç hareketinin nedenlerine baktığımızda benzer özelliklerin itici faktör olarak karşımıza çıktığını görmekteyiz. Yoksulluk, etnik-ideolojik-dinsel ve siyasal baskılar, işsizlik, savaş vb. sorunlar bu faktörler arasında yer almaktadır. Göç edilen yer ise terkedilen mekânın aksine birçok çekici faktörü içinde barındırır. Kırın iticiliği, kentin çekiciliği olarak tanımlanan bu modelde, sosyo-ekonomik faktörler ve zorunlu göçe sebebiyet veren ekolojik ve politik faktörler göçün iki önemli nedeni olarak gösterilebilir (Tümtaş M. S., 2007).

Ülkemizdeki göç hareketleri incelendiğinde kırdaki sosyal, ekonomik, siyasal sorunların kentsel alanlarda çözülebileceğine veya kentte bu tür bir sorunun olmayacağına dair algı, kırdan kente olan göç hareketlerini hızlandırmıştır. Bu algı göçün sürekliliğini sağlayan önemli bir güçtür (Tümtaş & Ergun, 2016).

Göç tarihine baktığımızda ilk ciddi göç hareketleri, 1950'li yıllarda Marshall yardımlarıyla birlikte tarımda makineleşme başlamış, kırdaki işsizlik, eğitim sorunları büyük kentlere yerleşen kapitalist ekonomik gücün cazibesiyle yoğun olarak başlamıştır. Özellikle erkek nüfus yedek işgücü piyasası oluşturarak düşük ücretlerle kentte sanayinin tutunmasını kolaylaştırmıştır. Büyük toprak sahipleri de kentte sanayiye yatırım yapmışlardır (Özbay & Yücel, 2001).

Kentsel nüfus göç ile artmaya başladıkça, güçlenen göçmen ağları, kentin kıra göre daha iyi altyapı, sağlık ve eğitim sistemi sunuyor oluşu kentin çekiciliğini arttırmıştır. 1960-1980 arası dönemde yoğun göç konut sorununu da beraberinde getirmiştir. Kent merkezine uzak noktalarda gecekondulaşma ile çözülmeye çalışılan konut sorunu enformel mekanizmaların oluşmasına neden olarak eşitsiz bir düzeni de beraberinde getirmiştir. Yerel yönetimler hızlı göç karşısında gerekli önlemleri alamamış, kamu arazileri üzerinde bir gecede yükselen

gecekondular yoksulluğun mekânı olarak kentte yerini almıştır. Kent büyüdükçe değerlenen gecekondu arazileri zamanla rant alanı olarak karşımıza çıkmış, bazı kesimlerin daha da yoksullaşması bazı kesimlerin ise daha da zengin olmasıyla el değiştirmiştir (Işık & Pınarcıoğlu, 2001). Yoksulluğun yok edilmediği sadece yer değiştirdiği bu sistem kentsel mekânda sosyal dışlanmanın görünür yüzü olmuştur.

Yapıldıkları ilk dönemde barınma amacıyla üretilen gecekondular, 1970'lerden itibaren kent çeperlerinde ilk gecekondu sahipleri tarafından yaptırılıp kiraya verilen bir sisteme dönüşmüştür. 1980'li yıllarda gecekondularda kiracı olarak kalma durumu artmıştır. Bu sistem zamanla kendinden sonra gelen göçmen gruba aktarılan bir sistemi doğurmuş, nöbetleşe yoksulluk kavramını karşımıza çıkarmıştır. Nöbetleşe yoksullukta, yoksulluktan kurtulabilmek için kente sonradan gelenlerin bir basamak olarak görülüp kullanıldığı bir sisteme karşılık gelen bir durum söz konusudur (Işık & Pınarcıoğlu, 2001). Bu bağlamda nöbetleşe yoksulluğun devamlılığının sosyal dışlanmadaki süreklilikle bağlantılı olduğunu söylemek de mümkündür. Bu sosyal dışlanmanın sonucu olarak yeni gelene yoksulluk devredilmeye çalışılmaktadır. Dolayısıyla bu alanlar, kentsel yoksullukla örtüşen kentsel alanlar olmuştur.

1980 ve 2000'li yıllardaki göç hareketleri incelendiğinde ise artan iletişim ve ulaşım olanaklarıyla birlikte göç hareketleri önündeki önemli engeller kalkmış, ülkenin doğusundan batısına sosyo ekonomik sorunlar ve tarım politikaları gibi nedenlerle göç artarak devam etmiştir. Dönemin sonunda kentsel nüfus oranı %65'e ulaşmıştır. Piyasa yönelimli politikalar, özelleştirmeler, ihracata yönelik büyüme politikalarıyla kentte işgücü arzı azalmıştır. Bu dönemde artan çarpık kentleşmeyle birlikte suça karışma, sokak çocukları, işsizlik, kayıt dışılık artarak kentsel yoksulluğu daha da çözümsüz bir duruma sürüklemiştir (Kaygalak, 2001).

1990'lı yıllarda göçün sebebini oluşturan temel sorun ekonomi değil güvenlik olmuş, çatışmalar sebebi ile ülkenin doğusundan diğer yerleşimlerine zorunlu göç başlamıştır. Bu dönemdeki göçün siyasal kökenli ve zorunlu olması kentlerde birçok olumsuz durumu doğurmuştur. Göçmenlerin yaşadıkları kültürel dışlanma, ötekileştirilme ve iş gücü piyasasından dışlanma bu sorunlardan bazılarıdır (Ünlütürk Ulutaş & Kamber, 2016). Bu durum zamanla diğer göçmen gruba aktarılarak nöbetleşe yoksulluk döngüsü devam ettirilmiştir.

Ülkemizde iç göçler olduğu kadar dış göçler de kentsel mekânı ve toplumu şekillendirmiştir. Cumhuriyetin ilk yıllarında gerçekleştirilen mübadele, ikinci dünya savaşı sonrası ve 1989 yılında Bulgaristan'dan gelen göçmenler, önemli sosyal, mekânsal ve ekonomik değişiklikleri doğurmuştur.

2011 yılında Suriye'deki iç politikalar sonucu gerçekleşen zorunlu kitlesel göç ülkemizdeki en yoğun göç hareketini başlatmıştır ve devam etmektedir. 2021 yılı itibariyle geçici barınma merkezinde 59.877, geçici barınma merkezleri dışında 3.559.041 geçici koruma sahibi

Suriyeli Türkiye'de yaşamaktadır (Göç İdaresi Başkanlığı, 2022). Suriyeli göçü yarattığı yoğun nüfus hareketi sebebi ile kentlerde güçlü bir sosyo-ekonomik, toplumsal ve mekânsal değişim gerçekleştirmiştir. Ucuz işgücü olarak değerlendirilen göçmenler kentsel yoksulluğun bir parçası olurken aynı zamanda etno-kültürel farklılıklarından dolayı sosyal dışlanma ile de karşılaşmışlardır.

Bütün bu göç hareketleri sonucunda Türkiye'de 2019 yılında %92,8 olan il ve ilçe merkezlerinde yaşayanların oranı, 2020 yılında %93 oldu. Diğer yandan belde ve köylerde yaşayanların oranı %7,2'den %7'ye düşmüştür (Türkiye İstatistik Kurumu, 2022).

Göç hareketleri incelendiğinde rahatlıkla söylenebilir ki, göçün gecekondulaşma, enformelleşme gibi kentsel yoksulluğun göstergeleri ile kurduğu nedensellik ilişkisinin temelinde kentteki örgütsüz işgücünün sanayi tarafından karşılık bulamaması yatmaktadır. Bu karşılıklı durumun süreklileşmesi ise kentsel yoksulluğu daha da derinleştirmekte ve mekânsal olarak yoğunlaşmasına neden olmaktadır.

Kentsel yoksulluğa göç, sanayileşme ve kentleşme ile artan nüfusun iş ve yaşam koşullarının kötüye gitmesi temel oluşturmuştur. Kentsel yoksulluk sadece işsizler için değil çalışan kesim için de geçerli bir olgudur. Artan nüfus ve düşen işgücü arzı ücretleri düşürürken, hizmetlerin özelleştirilmesi ile artan fiyatlar hem çalışan kesimi hem de çalışamayan kesim olan, yaşlılar, engelliler, çocuklar, kadınlar, gençler gibi ev içi emeği ücretsiz olanları da yoksulluk sınırının altına çekmiştir (Dündar, 2011).

Kentleşme olgusu, kent olarak kabul edilen yerleşme birimlerinde nüfus artışıyla birlikte görülen ekonomik ve toplumsal yapıdaki değişmeyi belirleyen bir süreçtir. Kentleşme sadece kent nüfusunun sayıca artması değil, bunun da ötesinde, nüfusun tarımdan sanayi ve hizmetlere kayması, fiziksel çevre ve sosyal yaşam koşullarında değişim yaşanması sürecidir. Kentleşme değişen fiziki koşulların yanında yeni bir ekonomik örgütlenme modeli de ortaya çıkarır ve bu durum toplumsal yapıya da yansıyarak bir yaşam biçimi ve kültür yaratır. Kentli, kentte yaşayan kişi, kent yurttaşıdır. Kentlilik, davranışa yansır. Kentlileşme, kentli olma, kent değerlerini öğrenme ve kent yaşamına uyum göstererek, kendi yaşamında hayata geçirme süreci olarak tanımlanabilir (Kaypak, 2011).

Kentsel yoksulluk kırda yaşanan yoksulluktan yapı olarak daha farklıdır. Kent yoksulu ekonomik yetersizliklerin yanında, işsizlik, barınma, eğitim, sağlık, güvenlik, sosyal olanaklardan faydalanamama gibi temel ihtiyaçların karşılanamaması, sosyal bütünleşme ve suçluluk sorunları gibi durumlarla da karşı karşıyadır.

Kent yoksulu sadece ekonomik çerçeve içinde değil kent dokusundaki bozulmalar, hizmet ve donatı eksikliği ve toplum standardına uyum sağlayamayan ailelerle de bağdaştırılmaktadır (Kaypak, Yoksulluğun Değişen Yüzü; Kentsel Yoksulluk ve Sosyal Dışlanma, 2013). Kent yoksulu kent içinde rakamlarla olduğu kadar mekânsal olarak da tanımlanabilecek özelliklere sahiptir. Kent yoksulluğu mahalle ve sokak ölçeğinden başlayarak yaşanılan kalite ve

niteliğini de belirler. Az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde yoksulluğun niceliği, niteliği ve derinliği gelişmiş ülkelere oranla daha fazladır.

Ekonomik ve siyasal sebeplerle kırdan kente doğru başlayan göç süreci, kırdaki yoksulluğu da kentlere taşıyarak kent yoksulu sayısında bir artışa sebep olduğu gibi gelir adaletsizliğini daha da arttırmıştır. Yoğun göç ile birlikte gerçekleşen kentleşme ise Türkiye örneğinde olduğu gibi daha çok gecekondu ile bağdaşmış, sonraki süreçlerde ise kent çeperlerinde gettolaşma ile devam etmiştir.

Günümüz kentlerinde yaşanan yoksulluk, geçmiştekinden farklı olarak daha geniş bir kesimi içine almaktadır. Küreselleşme ile birlikte derinleşen kentsel yoksulluk siyasal değişimler, ekonomik problemler, işsizlik, sosyal yapıdaki bozulmalar ve yoğun göç ile kendini hem ekonomik olarak hem de mekânsal olarak daha yoğun hissettirmektedir.

3.SOSYAL DIŞLANMA VE MEKÂNSAL AYRIŞMA

1980'lerde kapitalist üretim süreçleri yeniden bir yapılanma aşamasına gelmiştir. Aynı zamanda sosyal problemlerinde açığa çıktığı bu yıllarda yoksulluk, sosyal adaletsizlikleri açıklamak için yeterli bir kavram olmaktan çıkmıştır. Eşitsizliğin temelinde sadece ekonomik temelli bir yoksulluk değil çok boyutlu bir yoksunluk yatmaktadır. Sosyal dışlanma kavramı, yoksulluğun ötesinde sosyal, kültürel, mekânsal, siyasi ve ekonomik açıdan sosyal sorunları açıklamaya çalışan bir olgu haline gelmiştir.

Yoksulluk kaynak yetersizliği ile ilişkilendirilirken, sosyal dışlanma daha ziyade ilişkilerdeki sosyal katılımın yetersizliği, sosyal entegrasyonun bulunmayışı ve güçten yoksunluk gibi sorunları ön plana çıkartır. Toplumun geri kalanıyla bir ilişki kopukluğu içeren sosyal dışlanmanın mekânsal boyutu da önemli bir sonuç olarak karşımıza çıkmaktadır. Yoksunluk salt kişisel ya da hanesel maddi kaynakların eksikliğinden kaynaklanmayabilir, yaşanılan yerdeki kamusal hizmetlerin eksik ya da yetersiz kalitedeki sunumu da kişiyi/haneyi toplum dışına itebilir. Ayrıca, sosyal dışlanmışlığın yoğun olarak yaşandığı bir mekanda dışlanmışlıktan kurtulmak için gerekli ilişkileri kurmak da imkansızlaşmakta, gerek kişisel motivasyon, gerek de toplumsal imkan boyutlarında dışlanmanın kendini sürdürmesi riski artmaktadır (Adaman & Keyder, 2006).

Belli mekânlara ulaşımda ve mekânlardan yararlanmada yoksunluğu içeren mekânsal dışlanmada iki durum karşımıza çıkmaktadır. Birincisi toplumun kişiyi yaşadığı yer sebebi ile dışlaması, ikincisi, kişinin, bireysel/hanesel maddi kaynaklara ulaşım imkânlarından bağımsız olarak, yaşadığı coğrafyadaki kamusal hizmetlerin nitelik ve niceliksel seviyeleri nedeniyle toplumsal hayatın içine tam anlamıyla, layıkıyla girememesi halidir (Adaman & Keyder, 2006).

Sosyal dışlanma, dışlanan bireylerin kent içi birçok fonksiyondan uzak tutulması gerektiği düşüncesini içerdiği için mekânsal anlamda ayrışmayı da beraberinde getirmektedir. Bu

noktada mekânsal dışlanmanın sosyal dışlanma süreci ile birlikte geliştiği ve ikisinin birbirlerini karşılıklı olarak etkilediği söylenebilir.

Mekânsal dışlanmanın önemli sonuçlarından biri de yoğunlaşma etkisidir. Sosyal dışlanmaya maruz kalmış kişilerle aynı kentsel mekânlarda yaşamak toplumun diğer kesimleriyle olan ilişki kopukluğunu derinleştirmekte ve sosyal dışlanmayı kısır bir döngü içine sokmaktadır. Tarlabaşı'nda yaşanan durum buna örnek verilebilir. Kentin merkezinde olan bir semtin sakinlerinin toplumla olan kopuk ilişkisi tezat bir görüntü doğurmaktadır. Kent içi sürgün mahallesi olarak tanımlayabileceğimiz Tarlabaşı, göçmenler için bir geçiş bölgesi olmaktan çıkıp zamanla sürgünün kalıcı mekânı haline gelmiştir. Bölge, etnik köken, sınıf, din gibi birçok konuda toplumun kutuplaştığının ve bu kutuplaşmanın bir tür damgalamaya dönüşerek sosyal dışlanmanın mekânsal ayrımcılık olarak da kendini gösterdiği bir örnektir. Son olarak bölgede ve yakın çevresinde gerçekleştirilen kentsel dönüşüm projeleri bu alanda yaşamayı göçmenler ve kent yoksulları için bir seçenek olmaktan çıkarmış sorunları daha da derinleştirmiştir.

Fiziksel ve toplumsal olarak önemli sonuçlar doğuran kentsel dönüşüm projeleri, içerdiği birçok potansiyele rağmen son dönemlerde sadece değer kazanan kent merkezlerinin birer rant merkezine dönüştürülmesi amacıyla kullanılmaktadır. Dolayısıyla kent merkezlerinde yer alan çöküntü veya gecekondu mahalleleri artık varlığına müsaade edilmemesi gereken ve tehdit unsuru olan yerleşimler haline gelmiştir. Bu durum içinde yaşayanlar içinde geçerlidir. Bu tür kentsel mekânları tehdit unsuru olarak gösteren sistem içinde yaşayanları da uzaklaştırılması gereken bir topluluk olarak tanımlamıştır. Yapılan ve yapılmakta olan proje süreçleri de göstermektedir ki bölgede var olan mekânsal ve toplumsal sorunlar bu projelerle birlikte çözülmek yerine kentin çeperlerine ötelenmiştir.

1950-1980 döneminde gecekondular ve küçük ölçekli müteahhitlerin gerçekleştirdiği konut projeleri kaynakları kısıtlı olan Türkiye için bir refah sistemi olarak işlemekte ve kent yoksulunun varolmasına izin vermekteydi. 1980 sonrası yeni kâr arayışlarına giren özel sektör için inşaat sektörü yeni rant kaynağı olmuştur. Dış ticarete ağırlık verilen ve küreselleşmenin giderek arttığı bu dönemde konut piyasasındaki rantlar belirli bir grubun elinde toplanmaya başlamıştır. Özel ve kamu ortaklığının da artığı bu dönemde kent içinde yer alan gecekondu mahalleleri yerine lüks konut sitelerinin ve alışveriş merkezleri yapılmaya başlanmıştır (Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 2009).

Kent yoksullarının yerinden edilmesi ve yer değiştirilmeye zorlanması kentsel dönüşüm projelerinin kent içinde yarattığı mekânsal ve toplumsal önemli bir sorundur. Özellikle bu alanlarda kiracı konumunda olanların mağduruiyeti daha fazla olmaktadır. Ayrıca İstanbul, İzmir ve Mersin gibi büyük oranda yeni göç alan kentlerde kiralık ucuz konutların hızla azalması giderek büyük sorun yaratmakta, kentteki yoksulluğu arttırmaktadır. Yıllar içerisinde geliştirilen dayanışma örüntüleri de bu projelerin yarattığı durumlar sebebi ile yok olmaktadır.

Günümüzdeki yoksulluk kavramı bütünleyici olmaktan ziyade daha da dışlayıcı bir karaktere bürünmüştür (Adaman & Keyder, 2006). Başlangıçta Türkiye'de göç öncelikle hemşehrilik ilişkileri üzerinden mekânsal olarak belirli yerlerde yoğunlaşmıştır. Fakat zamanla kent içi arazilerin değerlenmesi, kentsel dönüşüm projeleri, konut kiralarının yükselmesi ve çevresel faktörler, İstanbul örneğinde olduğu gibi göçmenleri kent çeperindeki yeni yerleşim yerlerine itmiştir. Göçmen nüfus oranı %25 olan Esenyurt ilçesi buna örnek gösterilebilir.

Mekânsal ayrışma zaman içerisinde toplum içinde orada yaşayanları damgalayan bir güce de dönüşmektedir. Kentsel mekânda etnisite, gelir grubu, statü, inanç gibi çeşitli unsurlar sebebi ile farklı yerlere yerleşen gruplar, yerleştikleri yerin toplumsal olarak algılanan şekli ile de tanımlanırlar. Kent içindeki çöküntü bölgelerinde veya kent çeperindeki yeni ve güvensiz alanlarda yaşayan göçmen grupları kendileri öyle olmasa bile yaşadıkları bölgenin getirdiği bir takım özellikler ile algılanırlar. Bu bölgeler kentin gelişimi için birer tehdit unsuru olarak görülür ve dolayısıyla içinde yaşayanlar da kent güvenliği ve toplum refahı için birer tehdittir (Koçak & Gencer, 2020).

Kent içinde sahip oldukları kötü altyapı ve ulaşım sistemi, niteliksiz konut yapısı, illegal ekonomisi, yetersiz kamusal hizmet gibi özellikleri ile kentin diğer bölgelerinden ayrılan göçmen bölgeleri, orada yaşayanların genelinin sahip olduğu gelir ve eğitim seviyesi düşüklüğü, suç oranının yüksek ve yaygın olması gibi özellikler ile bütünleşerek toplumda o bölgeye ve orada yaşayanlara yönelik kırılması zor bir önyargı oluşmasına neden olmaktadır. Bu durum bölgede yaşayanları sosyal dışlanma ile karşı karşıya bırakırken mekânsal ayrışmayı da beraberinde getirmektedir.

Bu anlamda, kentsel yoksulluk, sosyal dışlanma ile mekânsal ayrışma arasındaki önemli bir diğer ilişki de yoksulların yaşadığı mekânların kentsel hizmetlerden yoksun kalmaya başlaması ve kullanılan mekânların eskiyerek yenilenememesidir. Bu mekânsal ve sosyal gerileme, işsizliği, sağlıksız ve güvenlikten yoksun bir kentsel çevreyi yoksullar veya göçmenler için kaçınılmaz hale getirerek, bu kesimleri marjinalize edebilmektedir (Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 2009).

4. SONUÇ, DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER

Çalışmada göç, kentsel yoksulluk, sosyal dışlanma ayrı başlıklarda incelenmiş bunların kentsel mekândaki yansıması olan mekânsal ayrışma/dışlanma ile olan ilişkisi açıklanmaya çalışılmıştır. Bu 4 farklı kavram birbiriyle iç içe geçmiş durumdadır. Birinin sonuçları diğerini ortaya çıkaran itici güç olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu bağlamda birinci bölümde Türkiye'deki göç hareketleri üzerinden yeniden üretilen kentsel yoksulluk kavramı açıklanmaya çalışılmıştır. Devamında ise sosyal ve mekânsal ayrışma ilişkisi sorgulanmıştır.

Ülkemizde yoksulluğun nedenlerine baktığımızda gelir dağılımı dengesizliği, ücretlerin düşüklüğü, bölgeler arası dengesiz gelişme farklılıkları, kayıt dışı istihdam, kentleşme ve göç, güvencesizlik gibi birçok faktör görülmektedir. Kentleşme ve beraberinde getirdiği göç yoksulluğa neden olan etmenleri daha da kuvvetlendirmekte ve kentsel yoksulluğu

derinleştirmektedir. Bu bağlamda Türkiye'de yaşanan ve hala devam eden göç süreçleri incelenerek sosyo-ekonomik ve mekânsal olarak sonuçlarına kısaca değinilmiştir.

Göç ile birlikte daha da güçlenen kentsel yoksulluk, ekonomik ve sosyal açıdan daha korunmasız olan göçmen gruplarda sosyal ve mekânsal dışlanma olarak kendini daha fazla göstermektedir. Göç etmenin getirdiği, ekonomik ve sosyal yetersizlikler varolan kentliye bile nitelikli cevap veremeyen kentsel mekânlarda göçmenler için niteliksiz alanların doğmasına neden olmuştur. Ekonomik, sosyal, siyasal ve kültürel sistemlerden tamamen ve kısmen yoksun olan göçmenler yaşadıkları mekânsal ayrışmayı sosyal yapıda da yaşamakta ve dışlanmaya maruz kalmaktadır.

Kente göç eden kişiler başlangıçta kent ile daha güvenli ilişki kurabilmek adına kendi gibi benzer sorunlara sahip göçmenlerin yaşadığı yerlere veya ekonomik sebeplerle daha ucuz olan bölgelere yerleşmişlerdir. Zamanla sahip oldukları ırksal, kimliksel, dini, ekonomik vb. özelliklere göre kendi yaşam alanlarını oluşturmuşlar ve kentsel mekânda kendileri için tanımlı alanlar yaratmışlardır.

Bu anlamda, kentsel yoksulluk ile mekânsal ayrışma arasındaki önemli bir diğer ilişki de yoksulların yaşadığı mekânların kentsel hizmetlerden yoksun kalmaya başlaması ve kullanılan mekânların eskiyerek yenilenememesidir. Yenilenemeyen alanlar kent içi arazilerin de değerlenmesiyle birlikte kurtulunması gereken ve kenti tehdit eden alanlar olan gösterilmiştir. Bu durum zamanla sadece mekânları değil içinde yaşayanları da benzer tanımlar içerisine sokmuştur. Kentsel dönüşüm projeleri bu durum için birer örnektir. Kentsel rant temelli projeler ile yerinden edilme süreçleri başlatılmış, projede hak sahibi olamayan veya olsa bile ekonomik olarak bu hakkı elde edemeyecek durumda olan kent yoksulu sahip olduğu sorunlarla birlikte kent çeperine sürüklenmiştir. Yeni gelen göçmen gruplarla birlikte Esenyurt örneğinde olduğu gibi yeni bölgeler oluşturmuştur.

Kent nüfusunun en korunmasız grubu olan kent yoksulları ve göçmenler, niteliksiz barınma ve çevre koşullarının yanı sıra iş olanaklarına ve kaynaklara da uzak kalmaktadır. Sosyal güvenlik gibi kamusal hizmetlerden de yeterince yararlanamazlar. Kentin eğitsel, sanatsal faaliyetlerine katılamamaları, politik süreçlerin dışında kalmaları, güvencesiz işlerde çalışmaları toplumsal olarak kent kültüründen de dışlanmalarına sebep olmaktadır. Artan alışveriş merkezleri, güvenlikli siteler yoksul ve göçmen sınıfları mekânsal olarak dışlamakta ve sınıfsal farklılıkları derinleştirmektedir. Özellikle 1980 sonrası daha da belirginleşen bu sosyo-mekânsal ayrışmalar kent çeperindeki getto bölgelerini de aşarak yeni alt kentleri oluşturmuştur. Bu durum tüketim normları ve davranışa da yansıyarak sosyal dışlanmayı kuvvetlendirmiştir.

Kent toplumsal birbirine karşı sorumlukları olan bireylerin toplumsal düzenini ifade eder. Sosyal dışlanma bu düzeni temelden sarsan bir sorundur. Niteliksiz kentleşme, kontrolsüz göç ve giderek artan kentsel yoksulluk kentsel mekânda parçalanmalara yol açmaktadır. Temel haklardan yoksun, kendi mekânını ve sosyal hayatını üretmek durumunda kalan

kentlileşemeyen nüfus, kent için birer tehdit unsuru olmakta; sosyal, ekonomik, siyasal ve kültürel olarak sorunların sebebi olarak gösterilmektedir.

Kentsel yoksulluk ve beraberinde gelen sosyal dışlanma gerekli önlemler alınmadığı takdirde giderek derinleşerek daha büyük sorunlara sebebiyet verecektir. Dolayısıyla hem merkezi hem yerel hükümetlerin bu konuda gerekli politikaları üretmesi ve uygulamaya koyması gerekmektedir. Göç ile birlikte yeniden üretilen yoksulluğun temel sebeplerine inilerek gelir adaletsizliği, kayıt dışı ekonomi, sosyal ve mekânsal dışlanma, sağlıksız barınma koşulları, yetersiz sağlık ve eğitim hizmetleri gibi sorunlara çözümler sunulmalıdır. Bu noktada yerel hükümetler kent ile doğrudan ilişki kurdukları ve yerel toplumu daha yakından tanıdıkları için çözüm için daha kuvvetli potansiyellere sahiptir.

Yoksullukla mücadelede STK'lar da önemli yer kaplamaktadır. Dolayısıyla kentsel yoksulluğun ve onun yol açtığı sorunların çözümlenmesinde üç aktörün varlığından söz edilebilir; STK'lar, yerel yönetimler ve merkezi idare. Merkezi yönetim yoksullukla ilgili ekonomik model önerisi getirebilir ve yerel yönetimlere kentsel yoksulluğu önlemesi için daha fazla yetki verebilir. Aynı zamanda devlet eğitim, sağlık, beslenme, barınma gibi temel ihtiyaçların karşılanması konusunda da sorumluluk sahibidir. Bu noktada kentsel yoksullukla mücadelede üretilen politikaların kim tarafından hangi süreçlerde uygulanacağı konusu önem kazanmaktadır. Kısa, orta ve uzun dönem politikalar yapabilirlik seviyeleri bakımından üç aktör arasında bölüştürülmelidir. Kısa sürede çözüme kavuşturulması daha kolay olan sağlık, barınma, beslenme gibi ihtiyaçlar ve bu konudaki sorunlar belediyeler ve sivil toplum kuruluşları aracılığı ile üretilecek politikalarla çözüme kavuşturulabilir. Ekonomik kalkınma, gelir adaletsizliği, istihdam, eğitim, sosyal güvenlik gibi sorunlar ise uzun vadede çözülebilecek sorunlardır. Dolayısıyla merkezi hükümetin desteği ile çözülebilir.

Göç, kentsel yoksulluk ve onun getirdiği sosyal dışlanma ve mekânsal ayrışma gibi sorunlar yerel hükümet, merkezi yönetim, sivil toplum kuruluşları ile olduğu kadar kentli nüfusu oluşturan tüm bireyleri ilgilendirmektedir. Bu tür kentsel problemler karşısında tüm aktörler üstüne düşen görevleri yerine getirmelidir. Aksi durumda her yeni sorun bir başka sorunu doğurmakta, kentin sosyal, kültürel, mekânsal ve ekonomik olarak sahip olduğu sorunlar daha da derinleşmektedir.

KAYNAKÇA

Adaman, F., & Keyder, Ç. (2006). *Türkiye'de Büyük Kentlerin Gecekondu ve Çöküntü Mahallelerinde Yaşanan Yoksulluk ve Sosyal Dışlanma.* İstanbul.

Bayındırlık ve İskan Bakanlığı. (2009, Nisan). Kentsel Yoksulluk, Göç ve Sosyal Politikalar Komisyonu Raporu. *Kentleşme Şurası*. Ankara.

Certel Fırat, A. B., & Kalav, A. (2017). Kent Mekanında Sosyal Dışlanma ve Güvencesizleştirme. *Route Educational and Social Science Journal*.

Dündar, Ö. Z. (2011). Türkiye'de Kentsel Yoksulluk Sorunu Açısından Sosyal Belediyeciliğin Önemi. *Mediterranean Journal of Humanities*, 117-126.

Göç İdaresi Başkanlığı. (2022, 01 15). https://www.goc.gov.tr/gecici-korumamiz-altindaki-suriyeliler adresinden alındı

Işık, O., & Pınarcıoğlu, M. (2001). Nöbetleşe Yoksulluk-Sultanbeyli Örneği. İstanbul: İletişim Yayınları.

Kaygalak, S. (2001). Yeni Kentsel Yoksulluk, Göç ve Yoksulluğun Mekânsal Yoğunlaşması: Mersin/Demirtaş Mahallesi Örneği. *Praksis*, 124-172.

Kaypak, Ş. (2011). Kent Sosyolojisi Basılı Ders Notları. Antakya: MKÜ.

Kaypak, Ş. (2013). Yoksulluğun Değişen Yüzü; Kentsel Yoksulluk ve Sosyal Dışlanma. *Sosyal Adalet İçin İnsan Hakları: Sosyal Haklar Konferansı Bildiriler Kitabı* (s. 261-282). içinde Ankara.

Koçak, H., & Gencer, M. (2020, Aralık 17). Mekansal Ayrışma ve Sosyal Dışlanma Bağlamında Roman Vatandaşları; Yeşilyurt Örneği. *IV. ULUSLARARASI TÜRKLERİN DÜNYASI SOSYAL BİLİMLER SEMPOZYUMU*. Kıbrıs İlim Üniversitesi.

Özbay, F., & Yücel, B. (2001). Türkiye'de Göç Hareketleri, Devlet Politikaları ve Demografik Yapı. . Ankara: Hacettepe Nüfus Etütleri Enstitüsü.

Tümtaş, M. S. (2007). Türkiye'de İç Göçün Kentsel Gerilime Etkisi: Mersin Örneği,Yüksek Lisans Tezi. Muğla Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Tümtaş, S., & Ergun, C. (2016). Göçün Toplumsal ve Mekansal Yapı Üzerindeki Etkileri. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 1347-1359.

Türkiye İstatistik Kurumu. (2022, 01 15). https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayali-Nufus-Kayit-Sistemi-Sonuclari-2020-37210 adresinden alındı

Ünlütürk Ulutaş, Ç., & Kamber, A. (2016). İç Göç ve Mekânsal Dışlanma. *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 1-13.

PERSONOLISED T-SHIRT CUSTOMIZATION PLATFORM

C. Hrithik Raj
Department of Computer Science and Engineering (AIML), Bharat Institute of Engineering and Technology, Mangalpally (v), Ibrahimpatanam,Hyderabad,501510

S. Praneeth Sagar
Department of Computer Science and Engineering (AIML), Bharat Institute of Engineering and Technology, Mangalpally (v), Ibrahimpatanam,Hyderabad,501510

Mr. M. Suresh
Department of Computer Science and Engineering (AIML), Bharat Institute of Engineering and Technology, Mangalpally (v), Ibrahimpatanam,Hyderabad,501510

Ch. Sunil Kumar
Department of Computer Science and Engineering (AIML), Bharat Institute of Engineering and Technology, Mangalpally (v), Ibrahimpatanam,Hyderabad,501510

ABSTRACT

The **Personalized T-Shirt Customization Platform** is a web-based system that enables users to design and order custom t-shirts based on their preferences. The platform provides an intuitive interface where customers can select t-shirt styles, colors, and sizes while adding personalized text, images, or graphics. Advanced customization options, such as font styles and layering, allow users to create unique designs. The platform simplifies the process of personalizing apparel, making it accessible for individuals, businesses, and organizations.

This system integrates real-time design previews, ensuring users can visualize their creations before placing an order. It leverages modern web technologies like HTML, CSS, and JavaScript for a seamless experience, while backend support ensures efficient order management and secure transactions. Additionally, AI-powered features such as design recommendations and auto-adjustments enhance the user experience by suggesting optimized layouts and color combinations.

The Personalized T-Shirt Customization Platform is ideal for individuals, event organizers, and businesses creating branded merchandise. By offering an easy-to-use interface with advanced customization features, the platform bridges the gap between creativity and production. Future enhancements may include AI-driven design automation, AR-based virtual try-ons, and expanded product categories beyond t-shirts.

Keywords: Custom T-shirt Design, AI-Powered Customization, Web-Based Platform.

THERMAL ASSESSMENT OF MAGNETO-MICROPOLAR NANOFLUID FLOW OVER AN EXPANSIVE SHEET WITH ARRHENIUS EVALUATION: A CASE OF STAGNATION POINT

Olumuyiwa O. Akanbi
Department of Mathematics and Statistic, Federal Polytechnic, Ilaro, Nigeria.

Ephesus O. Fatunmbi
Department of Mathematics and Statistic, Federal Polytechnic, Ilaro, Nigeria.

ABSTRACT

Fluid flow and heat transfer phenomenon over an extending material device play a crucial role in many manufacturing and engineering processes such as paper and textile production, hot rolling, polymer extrusion, etc. Thus, the current investigation delves into the thermal evaluation and flow dynamics of a hydromagnetic and reactive micropolar fluid comprising tiny nano particles in the presence of radiative heat flux, Arrhenius kinetics, Darcy and viscous dissipation effects. The physical phenomenon is modelled with a set of partial differential equations using the governing physical laws of conservation. The partial differential equations are transformed into ordinary forms using suitable similarity tools and the resultant equations are solved by Runge-Kutta Felhberg integration scheme. The outcomes are announced via various graphs and tables for critical applications. The results revealed that the micropolar material term caused a decline in the velocity profiles while the thermal field profiles increased. An enhanced thermal profile is found with a rise in the Brownian motion and radiative term, whereas the concentration of the nanoparticles reduces with this term.

Keywords: Magneto-micropolar nanofluid; Arrhenius kinetics, Radiative flux; Stagnation-point; Nanoparticles.

DESIRABLE FEATURE FOR A QR CODE ATTENDANCE SYSTEM

S.Haranath
Department of Computer Science and Engineering(AI&ML), Bharat Institute of Engineering and Technology,Mangalpally(v),Ibrahimpatanam,Hyderabad,501510

B.Sri Chetan
Department of Computer Science and Engineering(AI&ML), Bharat Institute of Engineering and Technology,Mangalpally(v),Ibrahimpatanam,Hyderabad,501510

M.Suresh
Department of Computer Science and Engineering(AI&ML), Bharat Institute of Engineering and Technology,Mangalpally(v),Ibrahimpatanam,Hyderabad,501510

Tawseef Ahmad
Department of Computer Science and Engineering(AI&ML), Bharat Institute of Engineering and Technology,Mangalpally(v),Ibrahimpatanam,Hyderabad,501510

ABSTRACT

This project proposes a QR code-based attendance system designed to enhance accuracy and efficiency while mitigating cheating. The system utilizes a dedicated mobile application for students to scan unique, potentially time-limited QR codes. Crucially, the app enforces a single active login session per device, preventing multiple students from using the same phone to check in. Upon successful login with student credentials, the scanned QR code, along with a timestamp and optionally location data, is recorded in a central database. This data is then used to generate attendance reports for instructors. The single-session restriction significantly reduces "buddy punching" and other forms of attendance fraud. The system aims to streamline attendance management, improve data integrity, and provide a fair and reliable method for tracking student presence. Technical considerations, including secure session management, robust error handling, and a user-friendly interface, are addressed to ensure the practicality and effectiveness of the proposed solution.

Keywords: QR Code Attendance, Student Authentication, Single Device Login, Time-sensitive QR Code, Fraud Prevention

FLUENTO:AI-POWERED EARLY DETECTION FOR DYSLEXIA

Sathwik Babu Narahari
Department of Computer Science and Engineering(AI&ML), Bharat Institute of Engineering and Technology,Mangalpally(v),Ibrahimpatanam,Hyderabad,501510

Ghatti Venkata Padma Sai Anand
Department of Computer Science and Engineering(AI&ML), Bharat Institute of Engineering and Technology,Mangalpally(v),Ibrahimpatanam,Hyderabad,501510

Tawseef Ahmad
Department of Computer Science and Engineering(AI&ML), Bharat Institute of Engineering and Technology,Mangalpally(v),Ibrahimpatanam,Hyderabad,501510

M.Suresh
Department of Computer Science and Engineering(AI&ML), Bharat Institute of Engineering and Technology,Mangalpally(v),Ibrahimpatanam,Hyderabad,501510

ABSTRACT

Dyslexia is a learning disorder that impairs reading and writing abilities, often going undiagnosed for extended periods. Machine learning (ML) offers promising solutions for early detection and intervention by analyzing patterns in reading and cognitive behavior. Using datasets such as text recognition, eye-tracking, and neuroimaging, ML algorithms can identify subtle markers indicative of dyslexia. By automating the detection process, ML reduces diagnostic delays and ensures timely support. Furthermore, personalized interventions can be developed through ML, offering adaptive learning tools.

Machine learning algorithms can identify subtle differences in reading patterns and cognitive processing, which may not be immediately apparent through traditional diagnostic methods, and support of dyslexic individuals, ultimately striving for more inclusive educational environments.

Keywords: Dyslexia, Machine learning (ML), Early detection, Text recognition

EFFECT OF THE IMPLEMENTATION OF BUSINESS EDUCATION CURRICULUM ON THE DEVELOPMENT OF ENTREPRENEURIAL SKILLS IN UPPER BASIC OF LANGTANG NORTH, PLATEAU STATE, NIGERIA

Irene Wanaemi Yakubu
PHd., epartment of science and Technology, Education, Faculty of Education, University of Jos

Nanyi Justine Mamven
Department of science and Technology, Education, Faculty of Education, University of Jos

Hulda Maxwel Davwet (PhD)
Department of science and Technology, Education, Faculty of Education, University of Jos

ABSTRACT

The study assessed the effect of the implementation of Upper Basic Two Business Studies Curriculum on the development of entrepreneurial skills in students in Langtang North Local Government, Plateau State, Nigeria. Survey research design was adopted for the study. The study had two research questions to guide it. The population of the study consisted of 1007 Junior Secondary Two Business Studies students in the 20 public upper basic (GJSS) in Langtang North Local Government, Plateau State, Nigeria. A sample size of 110 students determined by Taro Yamane formula was used for the study. A questionnaire tagged "Development of Entrepreneurial Skills Students' Questionnaire" (DESSQ) was used for data collection. The reliability coefficient of 0.83 of the students' responses was obtained using Cronbach Alpha Correlation Coefficient Method. Mean and Standard Deviation was used to analyze the collected data, to answer the research questions. The findings of the study revealed that there is inadequacy of facilities in schools in Langtang North LGA and non-availability of instructional materials for the development of entrepreneurial skills in Upper Basic Two students in Langtang North LGA of Plateau state. Based on the findings, the study concluded that the implementation of the Business Studies curriculum to some extent has failed to attain its desired objectives. It was recommended that the Plateau State Government through the Ministry of Education should provide more facilities and instructional materials in the schools to ensure effective implementation of Business Studies Curriculum in Langtang North Local Government.

Keywords: Implementation, Business Studies curriculum, Entrepreneurial skills, Upper Basic two.

BIPOLAR FUZZY PSEUDO-UP SUBALGEBRA OF PSEUDO-UP ALGEBRA

Alachew Amaneh Mechders
Department of Mathematics, college of Science, University of Kabridahar
Department of Mathematics, College of Science, Bahir Dar University

Berhanu Assaye Alaba
Department of Mathematics, College of Science, Bahir Dar University

Tilahun Mekonnen Munie
Department of Mathematics, College of Science, Bahir Dar University

ABSTRACT

In the study of algebraic structures, the concept of subalgebras plays a crucial role in understanding the properties and behavior of more complex systems. Specifically, the notion of bipolar fuzzy pseudo-UP subalgebras (BPUP subalgebras) within pseudo-UP algebras has garnered attention for its ability to model uncertainty and fuzzy relationships. This paper investigates the properties of BPUP subalgebras and explores several key interactions, including their intersections, unions, and Cartesian products, offering a deeper understanding of their behavior within pseudo-UP algebras. We examine the properties of BPUP subalgebras by applying algebraic techniques and fuzzy logic principles. Key operations, such as intersection, union, and Cartesian products, are considered to determine their effects on the structure of BPUP subalgebras. The study involves the characterization of these subalgebras through level subsets and the analysis of their level cuts. Our findings reveal that the intersection of two BPUP subalgebras results in a BFPUP subalgebra, while the union of two BFPUP subalgebras does not always maintain this property. However, the Cartesian product of any two BPUP subalgebras is shown to be a BFPUP subalgebra of the pseudo-UP algebra. Additionally, we provide a characterization of the Cartesian product of BPUP subalgebras using their level subsets. The study also uncovers the relationship between BFPUP subalgebras and their level cuts, offering a new perspective on their structural properties. Furthermore, it is proven that both the inverse and homomorphic images of a BFPUP subalgebra remain BFPUP subalgebras.

This paper contributes to the understanding of bipolar fuzzy pseudo-UP subalgebras by proving several important properties related to their interactions, such as intersections, unions, Cartesian products. The results deepen our insight into the structure of BPUP subalgebras and their relationship with level subsets and cuts. Moreover, the closure properties under inverse homomorphic images reinforce the robustness of BPUP subalgebras in pseudo-UP algebras.

HESITANT FUZZY PSEUDO TM-SUBALGEBRA OF A PSEUDO TM-ALGEBRA

Alemayehu Girum Melaku
Bahir Dar University, College of Science, Department of Mathematics, Bahir Dar, Ethiopia

Berhanu Assaye Alaba
Bahir Dar University, College of Science, Department of Mathematics, Bahir Dar, Ethiopia

Bekalu Tarekegn Bitew
Bahir Dar University, College of Science, Department of Mathematics, Bahir Dar, Ethiopia

Beza Lamesgin Derseh
Debre Markos University College of Natural and Computational Science, Department of Mathematics, Debre Markos, Ethiopia.

ABSTRACT

In this paper, we apply the concept of hesitant fuzzy sets(HFS) to pseudo-TM subalgebra(PTMS) in pseudo-TM algebra(PTMA). We prove that the intersection of two hesitant fuzzy pseudo-TM subalgebra(HFPTMS) is also a HFPTM. Additionally, we discuss the concepts of hesitant fuzzy pseudo-TM subalgebra(PTMSA) under homomorphism and explore several related properties. The homomorphic image and inverse image of hesitant fuzzy pseudo-TM subalgebra(PTMSA) in a pseudo-TM algebra are also examined in detail. Moreover, we study the notion of HFPTMunder the Cartesian product of pseudo-TM algebra. Finally, we prove that the Cartesian product of any two HFPTM is also the HFPTMof pseudo-TM algebra, and then some related results are obtained.

FUZZY PTM SUBALGEBRA OF PTM - ALGEBRA

Alemayehu Girum Melaku
Bahir Dar University, College of Science, Department of Mathematics, Bahir Dar, Ethiopia

Berhanu Assaye Alaba
Bahir Dar University, College of Science, Department of Mathematics, Bahir Dar, Ethiopia

Bekalu Tarekegn Bitew
Bahir Dar University, College of Science, Department of Mathematics, Bahir Dar, Ethiopia

Beza Lamesgin Derseh
Debre Markos University College of Natural and Computational Science, Department of Mathematics, Debre Markos, Ethiopia.

ABSTRACT

Fuzzy sets and subalgebra play a significant role in the study of algebraic structures, particularly in the context of pseudo-TM algebras, which are non-commutative generalizations of MV-algebras. This article introduces the concept of fuzzy pseudo-TM subalgebra (FPTMSA) within the framework of pseudo-TM algebra (PTMA), exploring its relationship with level sets and investigating its behavior under various algebraic operations. It defines and examines the role of level sets in characterizing FPTMSAs within PTMAs, focusing on their behavior under homomorphisms, including homomorphic images and inverse images, and the composition of epimorphic images and inverse images. The study also demonstrates that the Cartesian product of two FPTMSAs remains an FPTMSA. Key properties of FPTMSAs, including their robustness under homomorphisms, epimorphisms, and Cartesian products, are established. The findings suggest that FPTMSAs play a significant role in the algebraic structure of PTMAs. Future research will extend these results to intuitionistic fuzzy pseudo-TM subalgebras within PTMAs, aiming to uncover new algebraic insights.

HEAT EXCHANGER POSITIONING AND POWER OPTIMIZATION IN GEOTHERMAL POWER PLANT USING FLASH STEAM

Ünsal AYBEK
Assist. Prof. Dr., Tokat Gaziosmanpasa University, Tokat Vocational School, Department of Electricity and Energy
ORCID ID: 0000-0003-3573-9385

Bekir DOĞAN
Assist. Prof. Dr., Tokat Gaziosmanpasa University, Tokat Vocational School, Department of Machinery and Metal Technologies
ORCID ID: 0000-0002-8986-7174

ABSTRACT

In this study, the effects of positioning a heat exchanger between the throttle valve and the separator, as well as between the separator and the turbine, on the system performance of conventional geothermal power plants that generate power using flash steam are investigated. The goal is to improve system efficiency and power production by increasing the mass flow rate and specific enthalpy of the steam entering the turbine. The conventional geothermal power plant is referred to as Model-I, the system with the heat exchanger positioned between the throttle valve and the separator as Model-II, and the system with the heat exchanger positioned between the separator and the turbine as Model-III. A portion of the water from the geothermal source is directed to the turbine line, while the other portion is used as a heat source in the heat exchanger. The system performances have been analyzed considering the changes in flashing pressure (P_4), the mass flow rate of water directed to the heat exchanger as the heat source ($\dot{m}_{hex,s}$), and the condenser temperatures (T_5). In power optimization, P_4 was used as the decision variable for Model-I, and both P_4 and $\dot{m}_{hex,s}$ were used as decision variables for Model-II and Model-III. For turbine safety, x_5 is limited to a minimum of 0.9. The power optimization of Model-I and Model-II was carried out at 123.4 kPa pressure, and under this condition, 4293 kW turbine power and 39.67% exergy efficiency were obtained. In Model-II optimization, $\dot{m}_{hex,s}$ was determined as zero, which confirmed the analyses. The power optimization of Model-III was carried out with a pressure of 219.8 kPa and a mass flow rate of 4.529 kg/s, and under this condition, 4649 kW turbine power and 42.95% exergy efficiency were obtained. The findings showed that the most suitable design under current conditions is Model-III.

Keywords: Flash steam, geothermal, optimization, renewable energy.

INTRODUCTION

The demand for secondary energy at the global level is growing rapidly, and it is largely met by fossil fuel power plants, which are major sources of greenhouse gases. In this context, increasing electricity generation from renewable energy sources gains greater importance. Geothermal heat-fired secondary power generation units are preferred among renewable energy options as they offer higher capacities and uninterrupted power supply guarantees. Therefore, geothermal power plants also constitute a viable alternative for baseload electricity supply compared to many small capacity and intermittent distributed renewable energy options. Single flash and double flash geothermal steam cycles are proven technologies for converting geothermal water from high enthalpy wells into energy [1].

Geothermal heat energy is a renewable heat energy obtained from below the earth's surface and ranging in temperature from 50 to 350 °C [2,3,4]. Geothermal energy sources are classified into four main types: hydrothermal, geo-pressurized, hot dry rock and magma. Among these, hydrothermal sources are the most widely used. Hydrothermal sources can be vapor-dominated or liquid-dominated; liquid-dominated sources are more common. Flash and binary cycle systems are the common systems of choice for utilizing liquid-dominated reservoirs for power generation. Flash systems are suitable for high-temperature sources and binary systems for low-temperature sources [4,5,6]. Flash geothermal power cycles are used as a suitable technology for heat recovery from liquid-dominated geothermal fields with temperatures of 170 °C and above. More than 60% of globally operating geothermal power plants prefer flash geothermal power cycles for electricity generation [7,8].

Martinez et al. (2020) developed a mathematical model to assess the thermodynamic performance of the single and double flash geothermal power cycles in the Cerro Prieto geothermal field. They reported that 36.67 MW and 102.112 MW of maximum net power could be produced by operating the single and double flash geothermal steam cycles, respectively [9].

Farsi and Rosen (2022) compared the three different geothermal systems, namely single-flash, double-flash, and double-flash connected turbine geothermal power plants, in terms of electrical power generation and exergy efficiency. Using the thermodynamic model, the optimum flash chamber pressures at which electrical power generation is maximized were investigated. The optimum pressures for the first flash chamber were found to be 300 kPa, 350 kPa, and 350 kPa for single flash, double flash, and double-flash connected turbine geothermal systems, respectively. At these pressure conditions, the exergy efficiencies were 44.2%, 47.1% and 48.5%, respectively [10].

Rudiyanto et al. (2021) conducted an extensive energetic and exergetic investigation of the Dieng geothermal power plant situated in Indonesia. The findings showed that the flash cycle could produce 40.68 kW of electricity with an exergy efficiency of 38.19% [11].

Siddiqui and Dincer (2019), investigated single, double, triple and quadruple flash steam geothermal power plants and reinjection options. In the study, it was emphasized that the optimal operating points are determined especially by the optimal evaporation pressures It was observed that the transition from single to double step significantly increases the power outputs, but as the number of steps increases from double to triple and then from triple to quadruple, the increase in turbine power outputs diminishes. It was also found that both exergy and energy efficiencies decreased as the number of flash steps increased [12].

Bina et al. (2018) designed the single and double flash systems to utilize the Sabalan geothermal fluid as a heat source. They showed that the energy and exergy efficiency of the double flash system increased from 16.26% and 40.06% to 17.73% and 50.89%, respectively [13].

This study contributes to the existing body of knowledge on geothermal power generation systems by evaluating the effects of integrating a heat exchanger into the conventional flash steam geothermal cycle. While previous studies, such as those by Farsi and Rosen (2022) and Siddiqui and Dincer (2019), have explored the effects of various flash cycles on energy and exergy efficiencies, the novelty of this research lies in the incorporation of heat exchangers between the throttle valve and the separator (Model-II) and between the separator and the turbine (Model-III). Based on our literature review, no system specifically designed for this purpose has been found. The findings indicate that positioning the heat exchanger between the separator and the turbine (Model-III) significantly enhances both power output and exergy efficiency when compared to the conventional Model-I system, which has been the focus of much of the previous research. By optimizing key parameters such as flashing pressure and the mass flow rate directed to the heat exchanger, the study highlights the importance of system configuration in improving performance.

These results are in line with earlier findings in the literature, where heat exchangers were used to improve system efficiency. However, this study provides new insights by focusing on the specific configuration of the heat exchanger and its impact on system performance. Furthermore, it emphasizes the critical role of flashing pressure, which has been shown to have a significant influence on the overall performance of geothermal systems. The integration of advanced technologies, such as heat exchangers, and the careful positioning within the system is crucial for maximizing both power generation and exergy efficiency.

Future work could build on these findings by examining the long-term effects of different environmental conditions on geothermal systems, as well as exploring how alternative heat exchanger designs might further optimize system performance. The economic feasibility of these optimizations also warrants further investigation, as understanding their cost-effectiveness will be essential for their practical implementation in the future.

MATERIALS AND METHODS

Systems Description

Fig. 1 shows schematically a single flash geothermal energy system (Model-I). This system consists of a throttle valve, a separator, a steam turbine and a condenser. The high-temperature geothermal heat source is taken from the production well and passes through the throttle valve, where it is isenthalpically depressurized. The geothermal fluid is then directed to the separator and the vapor is transferred to the steam turbine, while the liquid phase is returned to the reinjection well. The expanding steam in the turbine generates electrical energy. The turbine output is directed to the condenser where it is completely condensed and delivered to the reinjection well.

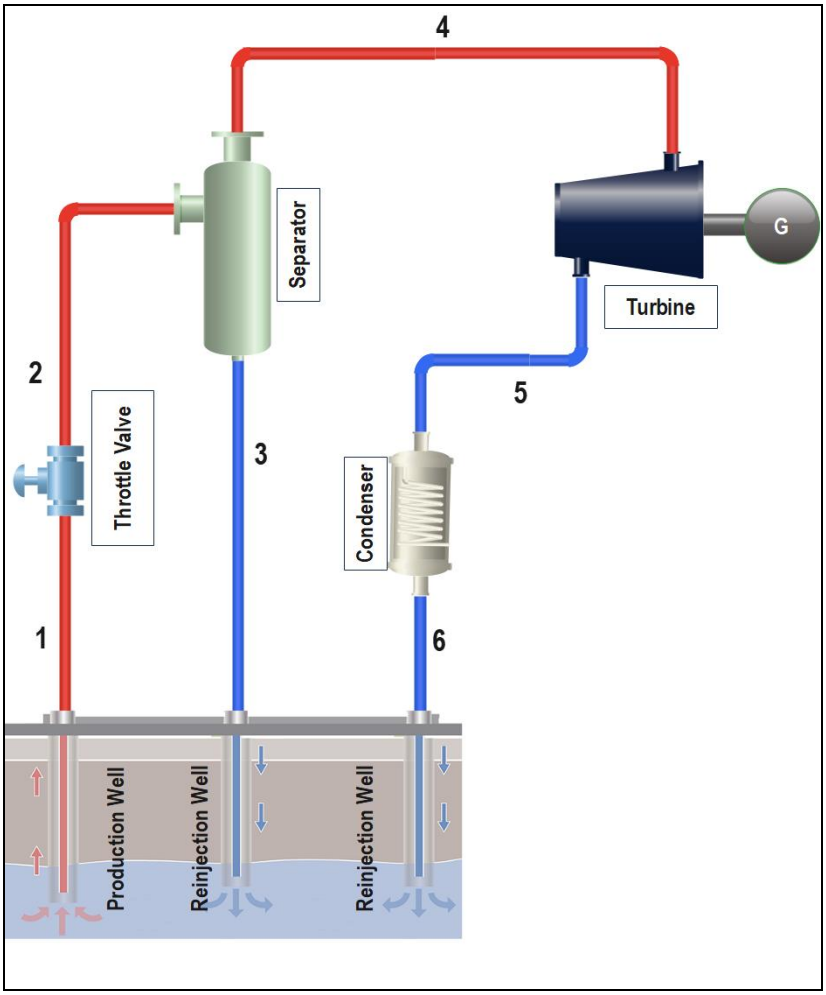


Fig. 1. Schematic showing the Model-I configuration.

In the system referred to as Model-II, a heat exchanger is incorporated, in addition to the components found in Model-I. In the system, a portion of the geothermal fluid from the production well is directed to a heat exchanger to heat the fluid leaving the throttle valve. After leaving the heat exchanger, this fluid was sent back to the reinjection well. The system called Model-III differs from Model-II in the positioning of the heat exchanger. In this

system, the heat exchanger is located between the separator and the turbine to obtain superheated steam. The configurations of the systems are presented in Fig.2 and Fig.3 respectively.

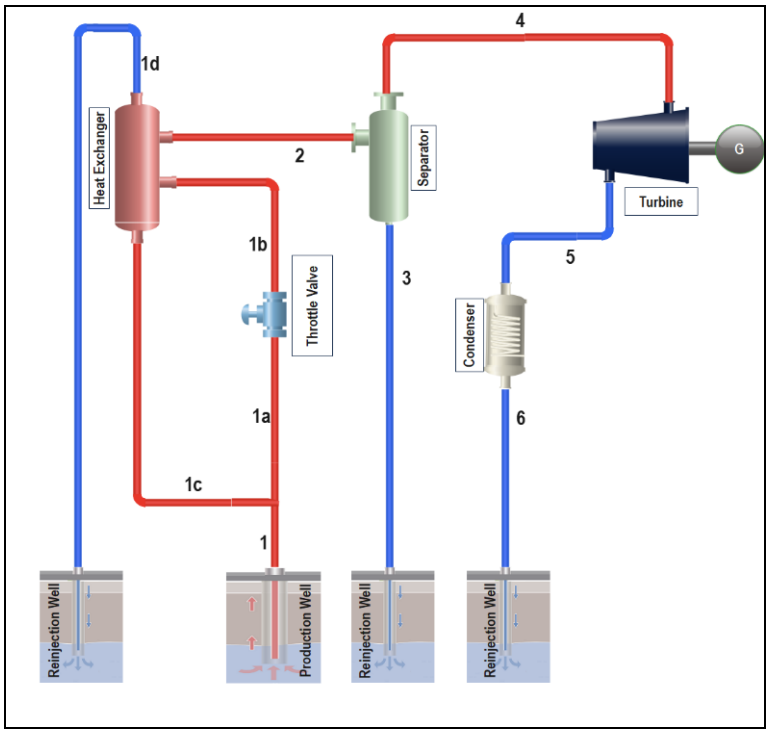


Fig. 2. Schematic showing the Model-II configuration.

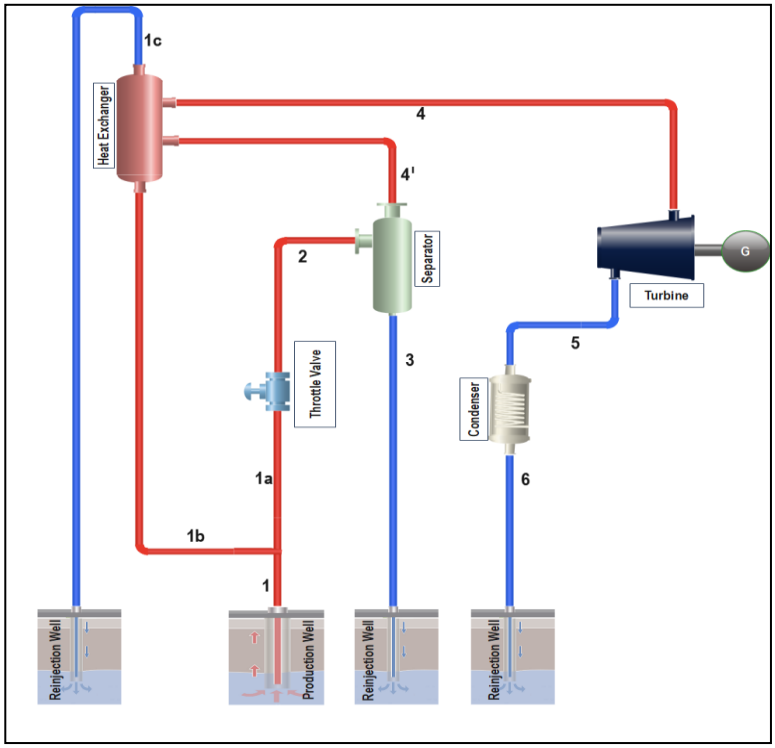


Fig. 3. Schematic showing the Model-III configuration.

Analysis

Flashing pressure is a key system parameter that, along with energy and exergy efficiencies, significantly impacts electrical power generation outputs [10, 12].. When determining the flash pressure for the feedwater, two opposing relationships must be considered. The lower the pressure, the higher the quality of the mixture, which increases the amount of steam produced. However, as the pressure decreases, both the specific enthalpy and exergy of the steam also decrease [12]. This effect of flashing pressure creates an optimization problem. Our goal was to improve the quality of the steam by adding a heat exchanger to the system. However, since both the heat exchanger and the system are fed from the same source, the amount of fluid directed to the heat exchanger introduces a new optimization problem. Additionally, the positioning of the heat exchanger presents another challenge.

Fig. 4a and 4b, 5a and 5b, and 6a and 6b present the P-h and T-s diagrams of the geothermal fluid for Models I, II, and III, respectively. These diagrams were generated based on the input data provided in Table 1. As seen in Fig. 5, the dryness fraction of the geothermal fluid increased (from 1b to 2) as a result of the heat exchanger, leading to an increase in the mass flow rate of the saturated steam entering the turbine for Model-II. Fig. 6 shows that the heat exchanger converts the saturated steam exiting the separator into superheated steam, but it has no effect on the mass flow rate of the steam.

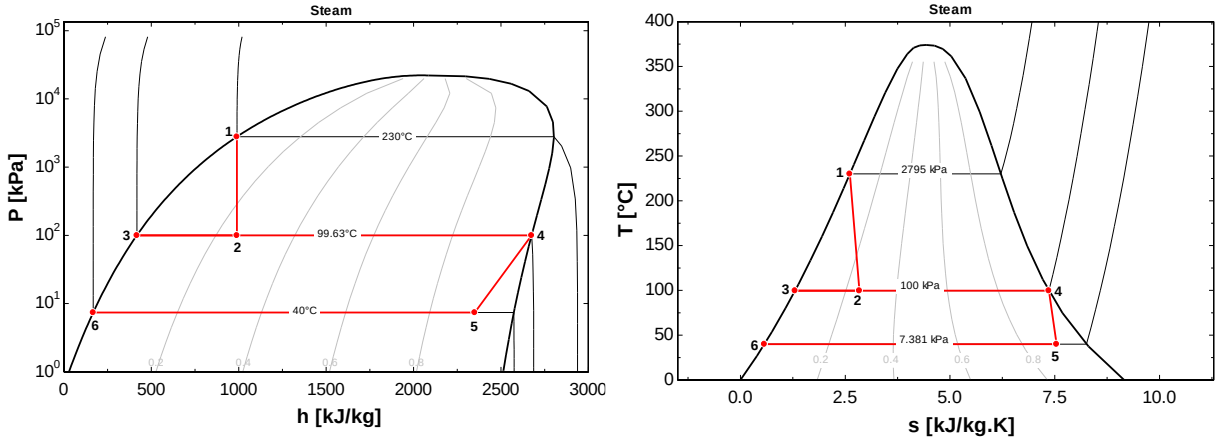


Fig. 4.a) P-h diagram and b) T-s diagram for Model-I.

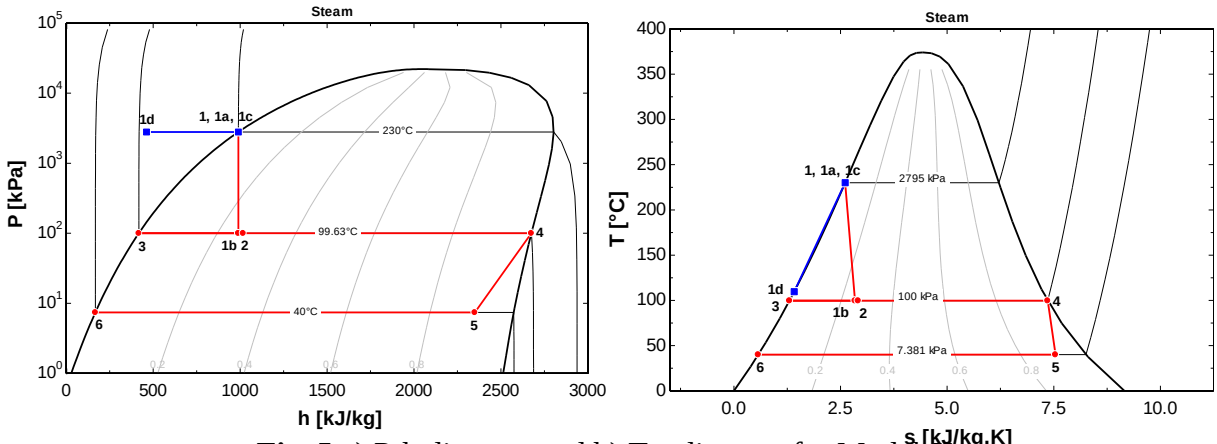


Fig. 5.a) P-h diagram and b) T-s diagram for Model-II.

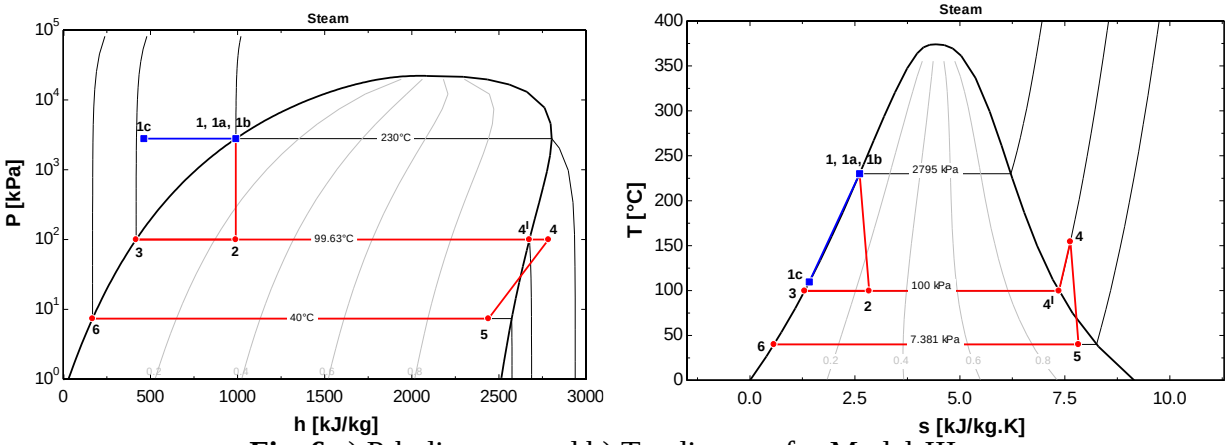


Fig. 6.a) P-h diagram and b) T-s diagram for Model-III.

Thermodynamic analyses of the three models described above were conducted by examining the effects of flashing pressure, the mass flow rate of the fluid directed to the heat exchanger as a heat source, and the condenser temperature on system performance. The mathematical model of the systems was created using the EES (Engineering Equation Solver) software. The input data, optimization conditions, and boundary conditions are provided in Table 1.

Table 1. Input data, optimization conditions, and boundary conditions of the models.

Parameter		Value	Optimization range	Optimization boundary condition
Mass flow rate of water directed to the heat exchanger as the heat source (Model-II and Model-III)	$\dot{m}_{hex,s}$	2.5 kg/s	0-5 kg/s	
Flashing pressure	P_4	100 kPa	50-500 kPa	
Condenser temperature	T_5	40 °C		
Quality of water at turbine outlet	x_5	-	-	0.9
Properties of geothermal water from production well	T_1	230 °C		
	$\dot{m}_1$	50 kg/s		
	x_1	0		
Turbine isentropic efficiency	$\eta_{is,tur}$	0.85		
Pinch point temperature difference of condenser	$\Delta T_{cond_{min}}$	15 °C		
Pinch point temperature difference of heat exchanger	$\Delta T_{hex_{min}}$	10 °C		
Ambient temperature	T_0	25 °C		

The thermodynamic analysis of the systems is based on the following assumptions [10].:

- The study is carried out under steady-state conditions.
- Kinetic and potential energy effects are neglected.
- Pressure drops in turbines and heat losses in lines are neglected.
- Adiabatic conditions are assumed for the steam turbine and separator.
- Throttle valves are assumed to exhibit isentalpic behavior.
- Isobaric conditions are considered for condenser and heat exchanger.

Under steady-state conditions, the mass, energy and exergy balance for an open system can be expressed in the control volume by general equations as follows:

$$\sum_{in} \dot{m} = \sum_{out} \dot{m} \tag{1}$$

$$\dot{Q} + \sum_{in} \dot{m}.h = \dot{W} + \sum_{out} \dot{m}.h \tag{2}$$

$$\dot{E}x^{\dot{Q}} - \dot{E}x^{\dot{W}} + \sum_{in} \dot{m}.ex - \sum_{out} \dot{m}.ex - \dot{E}x_D = 0 \tag{3}$$

Equations (1) to (3) can be applied to each system component. In the equations, $\dot{m}, h \text{ and } ex$ represent the mass flow rate, specific enthalpy, and specific exergy, respectively. Meanwhile, $\dot{Q}, \dot{W} \text{ and } \dot{E}x_D$ denote the rates of heat transfer, work, and exergy destruction, respectively. The terms $\dot{E}x^W \text{ and } \dot{E}x^Q$ represent the exergy rates associated with work and heat transfer, and these can be expressed as:

$$\dot{E}x^{\dot{W}} = \dot{W} \tag{4}$$

$$\dot{E}x^{\dot{Q}} = (1 - \frac{T_0}{T})\dot{Q} \tag{5}$$

In these equations, T is the absolute temperature at which the heat transfer process takes place. Tables 2 to 4 present the mass, energy, and exergy balances for each case of the systems.

Table 2. Mass balance of components of models

Mass Balance		
Model-I	**Model-II**	**Model-III**
$\dot{m}_1 = \dot{m}_2$	$\dot{m}_1 = \dot{m}_{1a} + \dot{m}_{hex,s}$	$\dot{m}_1 = \dot{m}_{1a} + \dot{m}_{hex,s}$
$\dot{m}_2 = \dot{m}_3 + \dot{m}_4$	$\dot{m}_{1a} = \dot{m}_{1b}$	$\dot{m}_{hex,s} = \dot{m}_{1b} = \dot{m}_{1c}$
$\dot{m}_3 = \dot{m}_2 * (1 - x_2)$	$\dot{m}_{hex,s} = \dot{m}_{1c} = \dot{m}_{1d}$	$\dot{m}_{1a} = \dot{m}_2$
$\dot{m}_4 = \dot{m}_2 * x_2$	$\dot{m}_{1b} = \dot{m}_2$	$\dot{m}_2 = \dot{m}_3 + \dot{m}_{4'}$
$\dot{m}_4 = \dot{m}_5 = \dot{m}_6$	$\dot{m}_2 = \dot{m}_3 + \dot{m}_4$	$\dot{m}_3 = \dot{m}_2 * (1 - x_2)$
	$\dot{m}_3 = \dot{m}_2 * (1 - x_2)$	$\dot{m}_{4'} = \dot{m}_2 * x_2$
	$\dot{m}_4 = \dot{m}_2 * x_2$	$\dot{m}_{4'} = \dot{m}_4 = \dot{m}_5 = \dot{m}_6$
	$\dot{m}_4 = \dot{m}_5 = \dot{m}_6$	

Table 3. Energy balance of components of models.

	Energy Balance		
Component	**Model-I**	**Model-II**	**Model-III**
T. Valve	$\dot{m}_1.h_1 = \dot{m}_2.h_2$	$\dot{m}_{1a}.h_{1a} = \dot{m}_{1b}.h_{1b}$	$\dot{m}_{1a}.h_{1a} = \dot{m}_2.h_2$
Separator	$\dot{m}_2.h_2 = \dot{m}_3.h_3 + \dot{m}_4.h_4$	$\dot{m}_2.h_2 = \dot{m}_3.h_3 + \dot{m}_4.h_4$	$\dot{m}_2.h_2 = \dot{m}_3.h_3 + \dot{m}_{4'}.h_{4'}$
Turbine	$\dot{W}_{tur} = \dot{m}_4.h_4 - \dot{m}_5.h_5$	$\dot{W}_{tur} = \dot{m}_4.h_4 - \dot{m}_5.h_5$	$\dot{W}_{tur} = \dot{m}_4.h_4 - \dot{m}_5.h_5$

	$\eta_{is,tur} = \frac{h_4 - h_5}{h_4 - h_{5s}}$	$\eta_{is,tur} = \frac{h_4 - h_5}{h_4 - h_{5s}}$	$\eta_{is,tur} = \frac{h_4 - h_5}{h_4 - h_{5s}}$
Condenser	$\dot{Q}_{cond} = \dot{m}_5.h_5 - \dot{m}_6.h_6$	$\dot{Q}_{cond} = \dot{m}_5.h_5 - \dot{m}_6.h_6$	$\dot{Q}_{cond} = \dot{m}_5.h_5 - \dot{m}_6.h_6$
Heat Exchanger		$\dot{Q}_{hex} = \dot{m}_{1c}.h_{1c} - \dot{m}_{1d}.h_{1d}$ $\dot{Q}_{hex} = \dot{m}_2.h_2 - \dot{m}_{1b}.h_{1b}$	$\dot{Q}_{hex} = \dot{m}_{1b}.h_{1b} - \dot{m}_{1c}.h_{1c}$ $\dot{Q}_{hex} = \dot{m}_4.h_4 - \dot{m}_{4'}.h_{4'}$

Table 4 Exergy balance of components of models.

Component	Model Type	Exergy Balance
T. Valve	**Model-I**	$\dot{m}_1.ex_1 - \dot{m}_2.ex_2 - \dot{E}x_{D_{tv}} = 0$
	Model-II	$\dot{m}_{1a}.ex_{1a} - \dot{m}_{1b}.ex_{1b} - \dot{E}x_{D_{tv}} = 0$
	Model-III	$\dot{m}_{1a}.ex_{1a} - \dot{m}_2.ex_2 - \dot{E}x_{D_{tv}} = 0$
Separator	**Model-I**	$\dot{m}_2.ex_2 - \dot{m}_3.ex_3 - \dot{m}_4.ex_4 - \dot{E}x_{D_{sp}} = 0$
	Model-II	$\dot{m}_2.ex_2 - \dot{m}_3.ex_3 - \dot{m}_4.ex_4 - \dot{E}x_{D_{sp}} = 0$
	Model-III	$\dot{m}_2.ex_2 - \dot{m}_3.ex_3 - \dot{m}_{4'}.ex_{4'} - \dot{E}x_{D_{sp}} = 0$
Turbine	**Model-I**	$\dot{m}_4.ex_4 - \dot{m}_5.ex_5 - \dot{W}_{tur} - \dot{E}x_{D_{tur}} = 0$
	Model-II	$\dot{m}_4.ex_4 - \dot{m}_5.ex_5 - \dot{W}_{tur} - \dot{E}x_{D_{tur}} = 0$
	Model-III	$\dot{m}_4.ex_4 - \dot{m}_5.ex_5 - \dot{W}_{tur} - \dot{E}x_{D_{tur}} = 0$
Condenser	**Model-I**	$\dot{m}_5.h_5 - \dot{m}_6.h_6 - \dot{E}x_{D_{cond}} = 0$
	Model-II	$\dot{m}_5.ex - \dot{m}_6.ex_6 - \dot{E}x_{D_{cond}} = 0$
	Model-III	$\dot{m}_5.ex_5 - \dot{m}_6.ex_6 - \dot{E}x_{D_{cond}} = 0$
Heat Exchanger	**Model-II**	$\dot{m}_{1c}.ex_{1c} + \dot{m}_{1b}.ex_{1b} - \dot{m}_{1d}.ex_{1d} - \dot{m}_2.ex_2 - \dot{E}x_{D_{hex}} = 0$
	Model-III	$\dot{m}_{1b}.ex_{1b} + \dot{m}_{4'}.ex_{4'} - \dot{m}_{1c}.ex_{1c} - \dot{m}_4.ex_4 - \dot{E}x_{D_{hex}} = 0$

Energy efficiency is the ratio of the useful energy obtained at the output of the system to the input energy, while exergy efficiency indicates the degree of reversibility of a process. In general, exergy efficiency is defined as the ratio of the exergy flow of useful outputs to the exergy flow at the input. In this context, the overall exergy efficiency of an energy system can be expressed as follows:

$$\psi = \frac{\dot{E}x_{useful}}{\dot{E}x_{in}} = \frac{\dot{W}_{tur}}{\dot{E}x_{in}} \quad (6)$$

RESULTS AND DISCUSSION

The system performance was evaluated based on the mass flow rate and specific enthalpy of the steam entering the turbine, the power generated in the turbine, and the exergy efficiency of the system. The dryness fraction of the fluid at the turbine outlet was also monitored. These analyses are presented in the corresponding graphs as (a), (b), (c), (d), and (e), respectively.

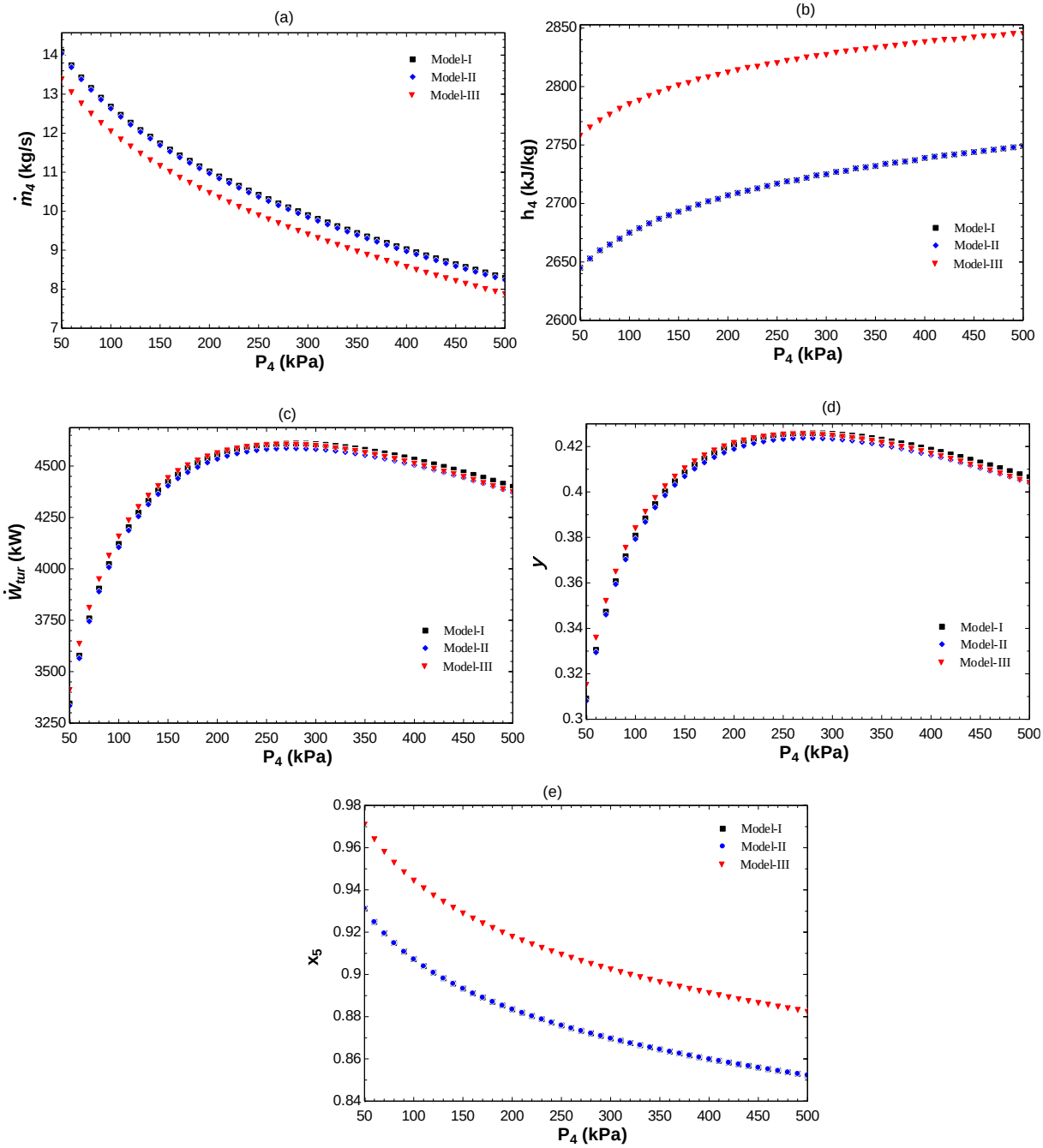


Fig. 7. Effects of flashing pressure on system performance

Fig. 7 shows the effects of flashing pressure on system performance for pressure variations between 50 and 500 kPa. The other parameters are based on the inlet conditions given in Table 1. It is observed that as the flashing pressure increases, the mass flow rate of steam entering the turbine decreases, while the specific enthalpy increases. Consequently, turbine power and exergy efficiency increase up to a point where the rate of increase in specific enthalpy becomes the determining factor, after which they begin to decrease. Under these conditions, a pressure of approximately 270 kPa represents the optimum power point for all models. At this pressure, 4610 kW, 4587 kW, and 4605 kW of power are obtained from the turbines of Model-I, Model-II, and Model-III, respectively, with exergy efficiencies of

42.59%, 42.38%, and 42.55%. Up to 230 kPa, the highest performance is obtained from Model-III, while Model-I dominates beyond this point. However, after a pressure of approximately 130 kPa in Model-I and Model-II, the dryness fraction of the fluid at the turbine outlet falls below the specified boundary condition. Furthermore, for Model-II and Model-III, the flexibility in $\dot{m}_{hex,s}$ offers the potential for improved system performance.

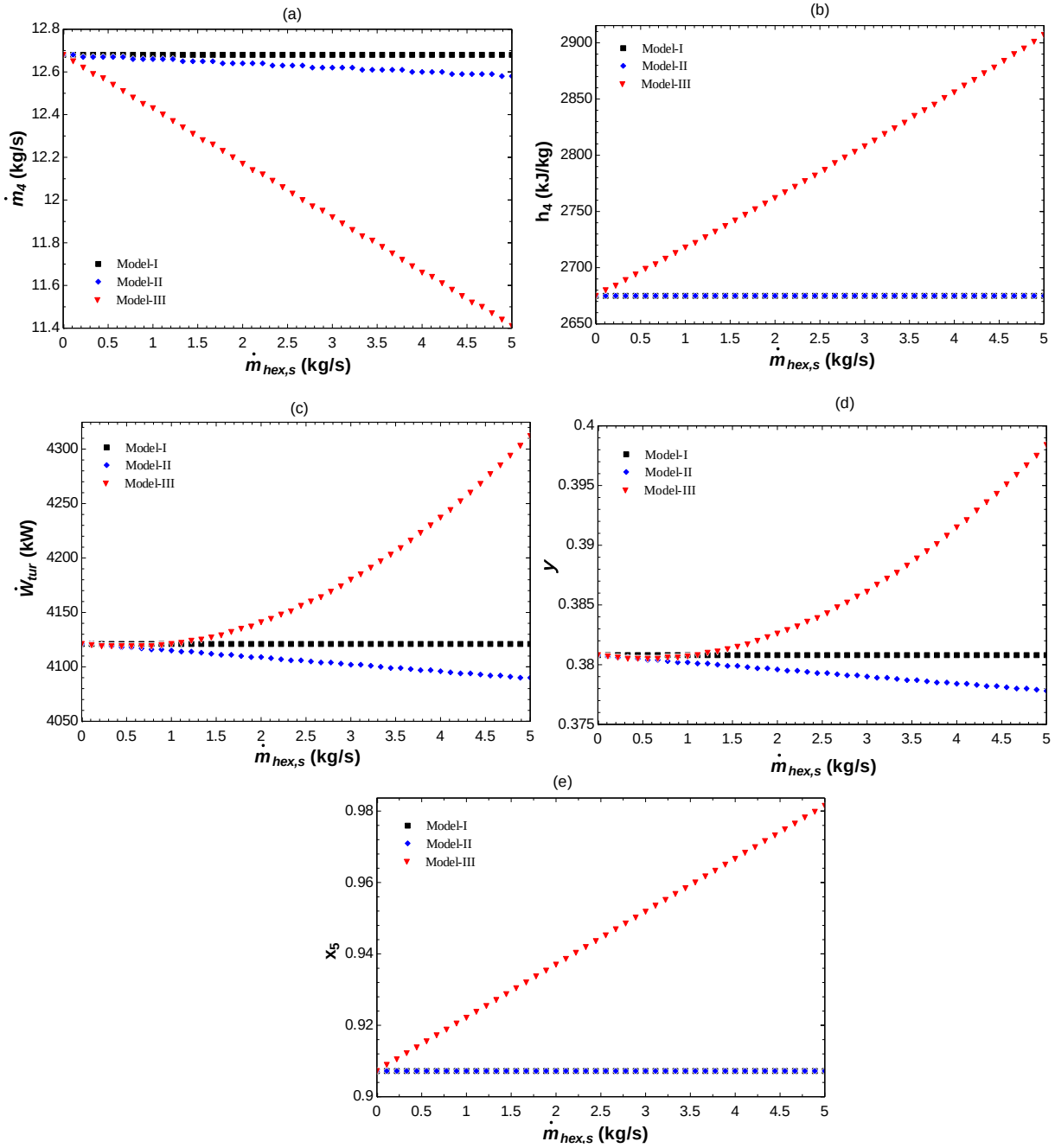


Fig. 8. Effects of $\dot{m}_{hex,s}$ on system performance

The effects of variations in $\dot{m}_{hex,s}$ between 0 and 5 kg/s on system performance are shown in Fig. 8. As the value of $\dot{m}_{hex,s}$ increases, the steam flow rate entering the turbine decreases in Model-II and Model-III, and this flow rate drops below that of Model-I. Model-III is more

significantly affected by this change. However, since the transition to the superheated steam phase occurs in Model-III, an increase in specific enthalpy takes place. This increase in specific enthalpy leads to improvements in turbine power and exergy efficiency, which outweigh the reduction in mass flow rate. However, due to the temperature limit of the heat source fluid in the heat exchanger, the steam temperature cannot exceed a certain value. Therefore, any further increase in $\dot{m}_{hex,s}$ beyond this point becomes ineffective. Within the $\dot{m}_{hex,s}$ range, turbine power and exergy efficiency decreased for Model-II (4121 kW to 4090 kW, 38.08% to 37.78%) and increased for Model-III (4121 kW to 4312 kW, 38.08% to 39.84%). After approximately 1 kg/s of $\dot{m}_{hex,s}$, Model-III outperformed Model-I in terms of power and efficiency.

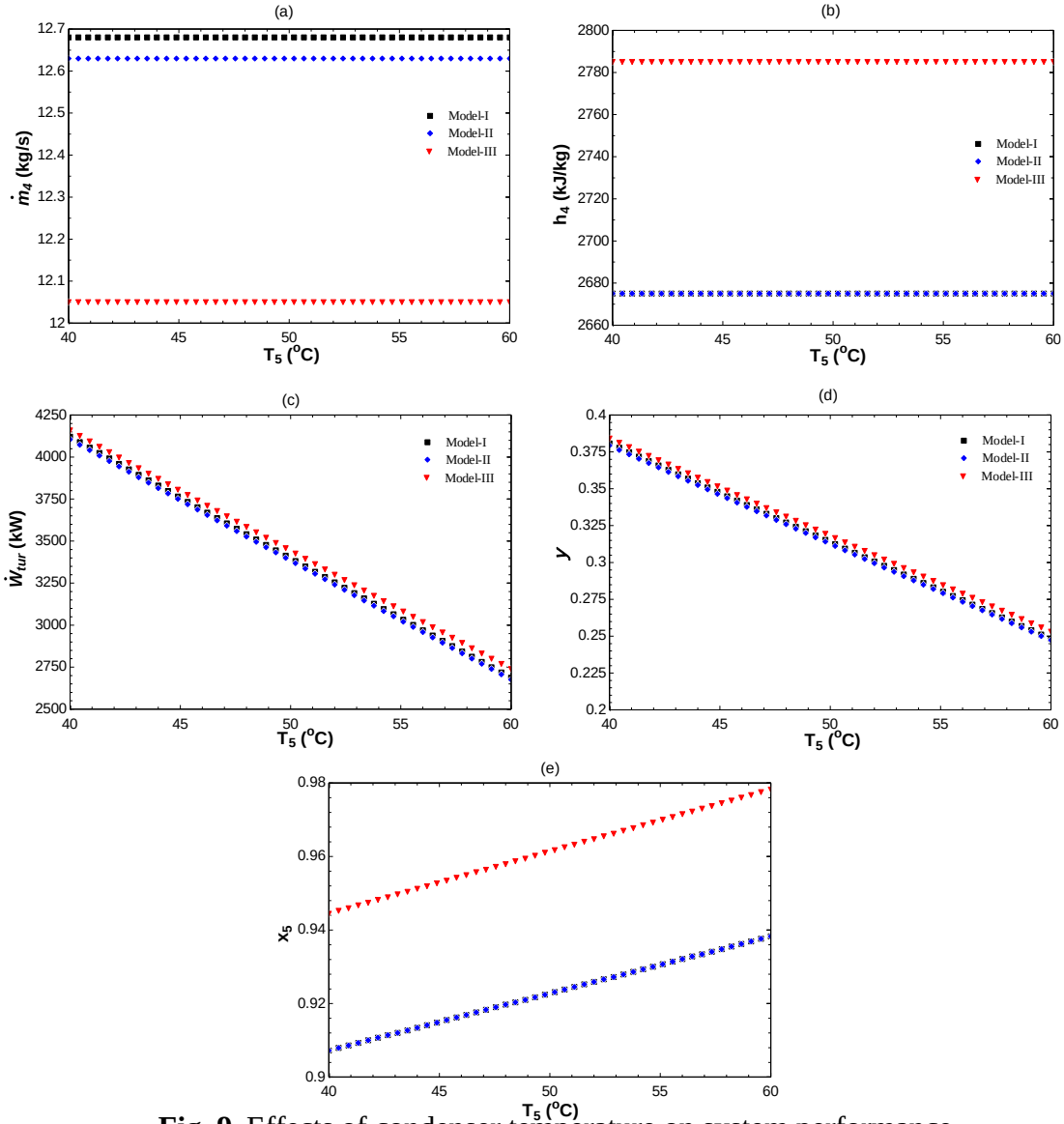


Fig. 9. Effects of condenser temperature on system performance

The condenser temperature is an important parameter that determines the turbine outlet pressure and, together with the flashing pressure, influences the turbine's operating range. The

performance of the systems was investigated for condenser temperatures between 40°C and 60°C, and the results are presented in Fig. 9. Although no direct effect of the condenser temperature on the turbine's inlet conditions was observed, it did increase the turbine outlet pressure and narrow the turbine's operating range. This, in turn, negatively impacted the power generation capacities and exergy efficiencies of the systems. The turbine powers and exergy efficiencies for Model-I, Model-II, and Model-III were as follows: 4121 kW - 2687 kW, 38.08% - 24.82%; 4105 kW - 2676 kW, 37.93% - 24.73%; and 4158 kW - 2738 kW, 38.41% - 25.3%, respectively. In addition, determining the condenser temperature depending on the environmental conditions is an inevitable factor in terms of heat transfer.

The analyses have revealed that turbine power and exergy efficiency vary in parallel with each other. Furthermore, it has been emphasized that the condenser temperature is not an optimization parameter but rather a factor that should be limited based on environmental conditions. Considering this, power optimization has been performed on all systems. In the power optimization process, flashing pressure (P_4) was selected as the decision variable for Model-I and optimized using the Golden Section Search method in the EES software. For Model-II and Model-III, both (P_4) and the mass flow rate of water directed to the heat exchanger as a heat source ($\dot{m}_{hex,s}$) were selected as decision variables, and the optimization process was carried out using the Genetic Algorithm method. To ensure turbine safety, the x_5 parameter was limited to a minimum value of 0.9. The power optimization of Model-I and Model-II was performed at a pressure value of 123.4 kPa, under which 4293 kW of turbine power and 39.67% exergy efficiency were obtained, respectively. In the Model-II optimization, the value of $\dot{m}_{hex,s}$ was set to zero, which confirmed the accuracy of the analyses. The power optimization of Model-III was performed at a pressure of 219.8 kPa and a mass flow rate of 4.529 kg/s, resulting in 4649 kW of turbine power and 42.95% exergy efficiency. The results indicate that Model-III is the most efficient design under the current conditions. Under optimal conditions, the thermodynamic properties of the states for Model-I, Model-II, and Model-III are provided in Table 5, Table 6, and Table 7, respectively.

Table 5. Thermodynamic properties of the states under optimal conditions for Model-I.

State	P (kPa)	T(ºC)	x(quality)	$\dot{m}$ (kg/s)	h(kJ/kg)	s (kJ/kg.K)	ex (kJ/kg)	$\dot{E}x$ (kW)
1	2795	230	0	50	990	2.61	216.5	10824
2	123.4	105.6	0.2441	50	990	2.815	155.4	7769
3	123.4	105.6	0	37.8	442.8	1.37	38.9	1470
4	123.4	105.6	1	12.2	2685	7.288	516	6298
5	7.381	40	0.9	12.2	2333	7.487	105.1	1283
6	7.381	40	0	12.2	167.5	0.5723	1.433	17.49

Table 6. Thermodynamic properties of the states under optimal conditions for Model-II.

State	P (kPa)	T(°C)	x(quality)	$\dot{m}$ (kg/s)	h(kJ/kg)	s (kJ/kg.K)	ex (kJ/kg)	$\dot{E}x$ (kW)
1	2795	230	0	50	990	2.61	216.5	10824
1a	2795	230	0	50	990	2.61	216.5	10824
1b	2795	230	0	50	990	2.61	216.5	10824
1c	-	-	-	0	0	0	0	0
1d	-	-	-	0	0	0	0	0
2	123.4	105.6	0.2441	50	990	2.815	155.4	7769
3	123.4	105.6	0	37.8	442.8	1.37	38.9	1470
4	123.4	105.6	1	12.2	2685	7.288	516	6298
5	7.381	40	0.9	12.2	2333	7.487	105.1	1283
6	7.381	40	0	12.2	167.5	0.5723	1.433	17.49

Table 7. Thermodynamic properties of the states under optimal conditions for Model-III.

State	P (kPa)	T(°C)	x(quality)	$\dot{m}$ (kg/s)	h(kJ/kg)	s (kJ/kg.K)	ex (kJ/kg)	$\dot{E}x$ (kW)
1	2795	230	0	50	990	2.61	216.5	10824
1a	2795	230	0	45.471	990	2.61	216.5	9843.6
1b	2795	230	0	4.529	990	2.61	216.5	980.4
1c	2795	133.3	-	4.529	562	1.666	69.69	316
2	219.8	123.3	0.2154	45.47	990	2.754	173.3	7881
3	219.8	123.3	0	35.68	517.6	1.563	56.24	2006
4'	219.8	123.3	1	9.793	2711	7.096	599.9	5875
4	219.8	219.7	-	9.793	2909	7.543	664.4	6507
5	7.381	40	0.9422	9.793	2434	7.811	110	1077
6	7.381	40	0	9.793	167.5	0.5723	1.433	14.04

CONCLUSIONS

In this study, the aim was to increase power and exergy efficiency by adding a heat exchanger, fed from the same source, to the conventional geothermal power plant operating with flash steam (Model-I). No performance improvement was observed in the Model-II system, as the mass of steam entering the turbine decreased, but the specific enthalpy remained unchanged. In the Model-III system, although the mass of steam entering the turbine decreased, an increase in power and efficiency was achieved through superheated steam production. However, in cases where a small amount of source input is provided to the heat exchanger, Model-III performed worse than the conventional Model-I system. These results indicate that the use of a heat exchanger has a certain effect on turbine performance, but this effect may vary depending on the system's operating conditions.

Additionally, the lack of performance improvement in the Model-II system suggests that the heat exchanger may not be effective in improving the turbine's inlet conditions. However, improvements may be possible by enabling further interaction with other parameters in the system (such as temperature difference and fluid regeneration). The underperformance of

Model-III, when a small amount of source input is provided to the heat exchanger, compared to Model-I, emphasizes the significant influence of flashing pressure and the turbine's operating range, suggesting that optimization in such cases requires more careful consideration.

Future studies may involve investigating such systems over a broader range of parameters and evaluating their performance under different heat source conditions. Additionally, further research is needed to explore how different types and configurations of heat exchangers could affect the efficiency of these systems. The findings showing that Model-III is more efficient under certain conditions provide a crucial foundation for future design considerations.

Nomenclature

ex: specific exergy (kJ/kg)

h: specific enthalpy (kJ/kg)

P: pressure (kPa)

s: specific entropy (kJ/kg ·K)

T: temperature (°C)

x: quality

$\dot{E}x$: exergy rate (kW)

$\dot{E}x_D$: exergy destruction rate (kW)

$\dot{m}$: mass flowrate (kg/s)

$\dot{Q}$: heat transfer rate (kW)

$\dot{W}$: work rate (kW)

Greek Symbol

ψ: exergy efficiency

Subscripts

$cond$: condenser

ex: exergy

hex: heat exchanger

sp: separator

T_0: reference state

tv: throttle valve

tur: steam türbine

REFERENCES

1. Mondal, S., Sahana, C., De, S., Optimum operation of a novel ejector assisted flash steam cycle for better utilization of geothermal heat, Energy Conversion and Management, Volume 253, 2022, https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.115164.

2. Aneke, M., Agnew,B., Underwood, C., Performance analysis of the Chena binary geothermal power plant, Applied Thermal Engineering, Volume 31, Issue 10, 2011, Pages 1825-1832, https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2011.02.028.
3. Hettiarachchi, H.D.M., Golubovic, M., Worek, W.M., Ikegami, Y., Optimum design criteria for an Organic Rankine cycle using low-temperature geothermal heat sources, Energy, Volume 32, Issue 9, 2007, Pages 1698-1706, https://doi.org/10.1016/j.energy.2007.01.005.
4. Aali, A., Pourmahmoud, N., Zare, V., Exergoeconomic analysis and multi-objective optimization of a novel combined flash-binary cycle for Sabalan geothermal power plant in Iran, Energy Conversion and Management, Volume 143, 2017, Pages 377-390, https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.04.025.
5. Shokati, N., Ranjbar, F., Yari, M., Comparative and parametric study of double flash and single flash/ORC combined cycles based on exergoeconomic criteria, Applied Thermal Engineering, Volume 91, 2015, Pages 479-495, https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2015.08.031.
6. Sarr, J.R., Mathieu-Potvin, F., Improvement of Double-Flash geothermal power plant design: A comparison of six interstage heating processes, Geothermics, Volume 54, 2015, Pages 82-95, https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2014.12.002.
7. Mondal,S., De, S., Self-superheated combined flash binary geothermal cycle using transcritical-CO2 power cycle with LNG heat sink as the secondary cycle, Energy, Volume 313, 2024, 133742, https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.133742.
8. Moya, D., Aldás, C., Kaparaju, P., Geothermal energy: Power plant technology and direct heat applications, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 94, 2018, Pages 889-901, https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.06.047.
9. Martínez, E. H., Carlos, M.C.P.A., Solís, J. I. C., Avalos, M.C.P., Thermodynamic simulation and mathematical model for single and double flash cycles of Cerro Prieto geothermal power plants, Geothermics, Volume 83, 2020, 101713, https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2019.101713.
10. Farsi, A., and Rosen, M. A., Comparison of Thermodynamic Performances in Three Geothermal Power Plants Using Flash Steam, J. Engineering ASME. 2022, 1, 011016, https://doi.org/10.1115/1.4054038
11. Rudiyanto, B., Bahthiyar, M.A., Pambudi, N. A., Widjonarko, Hijriawan, M., An update of second law analysis and optimization of a single-flash geothermal power plant in Dieng, Indonesia, Geothermics, Volume 96, 2021, 102212, https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2021.102212.
12. Siddiqui, O., and Dincer, I., Exergetic Performance Investigation of Varying Flashing From Single to Quadruple for Geothermal Power Plants, J. Energy Resour. Technol., 2019, 141(12): 122301. https://doi.org/10.1115/1.4043748
13. Bina, S. M., Jalilinasrabady, S., Fujii, H., Exergoeconomic analysis and optimization of single and double flash cycles for Sabalan geothermal power plant, Geothermics, Volume 72, 2018, Pages 74-82, https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2017.10.013.

10 kW GÖMÜLÜ SABİT MIKNATISLI SENKRON MOTORDA TORK DALGALANMASI ve VURUNTU TORKUNU AZALTMAK İÇİN ROTOR PARAMETRELERİNİN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE OPTİMİZASYONU

OPTIMIZATION OF ROTOR PARAMETERS FOR TORQUE RIPPLE AND COGGING TORQUE REDUCTION IN 10 kW INTERIOR PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS MOTOR USING FINITE ELEMENT METHOD

Ahmet Akay ÖZKALE
Res. Asst., Aksaray University, Engineering Faculty, Department of Electrical and Electronics Engineering
ORCID NO: 0000-0003-1573-6881

Ali ÖZDİL
Dr., Kırşehir Ahi Evran University, Engineering Faculty, Department of Electrical and Electronics Engineering
ORCID NO: 0000-0002-0619-5182

Yunus UZUN
Prof. Dr., Aksaray University, Engineering Faculty, Department of Electrical and Electronics Engineering
ORCID NO: 0000-0002-1412-8473

ÖZET

Bu çalışma, 10 kW Gömülü Sabit Mıknatıslı Senkron Motorun (GSMSM) tork dalgalanması ve tepeden tepeye vuruntu torku üzerindeki rotor tasarım parametrelerinin etkilerini araştırmaktadır. Motorun performansını doğrudan etkileyen temel rotor parametreleri, Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY) kullanılarak detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. İncelenen başlıca parametreler arasında, rotor içerisindeki mıknatıs yuvalarının üst kısımlarının sınırlarını belirleyen dairenin çapı (D1), zıt kutuplu en yakın mıknatısları içeren yuvaların üst kısımları arasındaki mesafe (Rib), mıknatıs yuvası açıklık genişliği (O1), mıknatıs yuvası derinliği (O2), mıknatıs yuvalarının üst kısımlarının eğrilik mesafesi (HRib) ve mıknatıs genişliği bulunmaktadır. Çalışma süresince diğer tüm tasarım faktörleri sabit tutulmuş ve yalnızca bu parametrelerin etkileri değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, analiz edilen parametreler arasında özellikle D1 ve Rib'in tork dalgalanması ve vuruntu torku üzerinde en belirleyici faktörler olduğunu göstermektedir. Bu iki parametrenin değiştirilmesi, motorun genel performansını olumlu yönde etkileyerek tork dalgalanmasını ve vuruntu torkunu önemli ölçüde azaltmaktadır. Optimum değerlerin belirlenmesiyle, çıkış torku daha düzgün hale getirilmiş ve motorun verimliliği sabit tutulmuştur. Bununla birlikte, mıknatıs yuvası açıklık genişliği, mıknatıs yuvası derinliği, mıknatıs yuvalarının üst kısımlarının eğrilik mesafesi ve mıknatıs genişliği gibi parametrelerin motorun tork performansı üzerindeki etkilerinin ihmal edilebilir seviyede olduğu belirlenmiştir. Gerçekleştirilen analizler sonucunda, tork dalgalanması %32,94'ten %13,13'e, vuruntu torku ise 1,0130 Nm'den 0,2268 Nm'ye düşürülerek kayda değer bir iyileşme sağlanmıştır. Bu sonuçlar, rotor tasarımının

optimizasyonunun motor performansı üzerinde kritik bir rol oynadığını ve mühendislik açısından dikkate alınması gereken önemli bir parametre olduğunu ortaya koymaktadır. Yapılan çalışmalar, rotor parametrelerinin dikkatli bir şekilde optimize edilmesi durumunda motor tork çıkışı karakteristiğinin iyileştirilebileceğini ve mekanik titreşimlerin azaltılabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Vuruntu torku, Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY), Gömülü Sabit Mıknatıslı Senkron Motor (GSMSM), Optimizasyon, Rotor tasarımı, Tork dalgalanması

ABSTRACT

This study investigates the effects of rotor design parameters on torque ripple and peak-to-peak cogging torque in a 10 kW Interior Permanent Magnet Synchronous Motor (IPMSM). The fundamental rotor parameters that directly affect motor performance were analyzed in detail using the Finite Element Method (FEM). The primary parameters examined include the diameter of the circle defining the boundaries of the upper parts of the magnet slots within the rotor (D1), the distance between the tops of the slots containing the closest opposite polarity magnets (Rib), the magnet slot opening width (O1), the magnet slot depth (O2), the curvature distance of the top parts of the magnet slots (HRib), and the magnet width. Throughout the study, all other design factors were kept constant, and only the effects of these parameters were evaluated. The results obtained indicate that among the analyzed parameters, D1 and Rib are the most influential factors affecting torque ripple and cogging torque. Modifying these two parameters positively impacts the overall motor performance by significantly reducing torque ripple and cogging torque. By determining the optimal values, the output torque became smoother while maintaining motor efficiency. On the other hand, parameters such as magnet slot opening width, magnet slot depth, curvature distance of the top parts of the magnet slots, and magnet width were found to have negligible effects on the motor's torque performance. As a result of the analyses conducted, torque ripple was reduced from 32.94% to 13.13%, while cogging torque decreased from 1.0130 Nm to 0.2268 Nm, achieving a significant improvement. These findings highlight the critical role of rotor design optimization in motor performance and emphasize its importance from an engineering perspective. The study demonstrates that careful optimization of rotor parameters can improve the motor's torque output characteristics and reduce mechanical vibrations.

Keywords: Cogging torque, Finite Element Method (FEM), Interior Permanent Magnet Synchronous Motor (IPMSM), Optimization, Rotor design, Torque ripple.

GİRİŞ

GSMSM'ler, yüksek verimlilikleri, kompakt yapıları ve tork yoğunlukları nedeniyle elektrikli araçlar ve endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Kartal ve Keskin

Arabul, 2022). Ancak, tork dalgalanması ve vuruntu torku gibi istenmeyen etkiler, bu motorların performansını sınırlayabilmektedir (Suriano-Sánchez vd., 2022). Tork dalgalanması, rotor ile stator arasındaki manyetik akı yoğunluğundaki harmonik bileşenlerden kaynaklanırken, vuruntu torku, stator dişleri ile mıknatıslar arasındaki periyodik manyetik çekim değişimlerinden meydana gelmektedir (Moon ve Kang, 2022). Bu sorunlar, akustik gürültü ve titreşimleri artırarak kullanıcı deneyimini olumsuz etkilemektedir (Dönmezer ve Ergene, 2010).

Tork dalgalanması ve vuruntu torkunu azaltmaya yönelik çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Rotor geometrisinin optimize edilmesi, mıknatıs boyutlarının ayarlanması ve mıknatıs dizilimlerinin değiştirilmesi gibi fiziksel modifikasyonlar, bu problemlerin giderilmesinde etkili yöntemler arasında yer almaktadır (Ahmadi vd., 2021). Rotor üzerinde delik veya bariyer tasarımının optimize edilmesi, manyetik akı yolunun kontrol edilmesini sağlayarak tork dalgalanmasını azaltmaktadır (Dong vd., 2020). Benzer şekilde, rotor ile stator arasındaki hava aralığının düzenlenmesi, manyetik akının harmonik bileşenlerini azaltarak motor performansını iyileştirmektedir (Shimizu vd., 2023).

GSMSM'lerin performansı üzerindeki tasarım değişikliklerinin etkileri, motor tasarımında kapsamlı bir şekilde incelenmektedir. Rotor üzerindeki mıknatısların konum ve boyutlarının optimize edilmesi hem tork dalgalanmasını azaltmakta hem de motor verimliliğini artırmaktadır (Kim ve Baek, 2024). Ayrıca, rotor üzerine eklenen girintiler ve delikler, manyetik akı dağılımını iyileştirmek ve vuruntu torkunu minimize etmek için etkili bir yöntem olarak değerlendirilmektedir (Song vd., 2021). Ancak, tasarım değişiklikleri uygulanırken motorun mekanik dayanıklılığı ve akustik performansı da göz önünde bulundurulmalıdır (Stamenkovic vd., 2005). Stator tasarımı, elektrik motorunun manyetik ve elektriksel özelliklerini doğrudan etkilemektedir (Juhaniya vd., 2022). Ancak, bu çalışmada yalnızca rotor parametreleri ele alınmıştır.

GSMSM türleri arasında, rotorun V şeklindeki mıknatıs konfigürasyonu genellikle motor verimliliğini artırmak amacıyla tercih edilmektedir. Bu düzenleme, manyetik akının rotor boyunca daha düzgün ve etkili bir şekilde yönlendirilmesini sağlayarak, rotor ile stator arasındaki akı transferinin daha az kayıpla gerçekleşmesine imkân tanımaktadır. V şeklindeki mıknatıslar, rotor-stator hava aralığında daha geniş bir manyetik akı yoğunluğu oluşturarak manyetik doygunluğu ve buna bağlı kayıpları azaltmaktadır. Daha düşük manyetik doygunluk, manyetik malzemedeki histerezis kayıplarının azalmasına neden olarak enerji tüketiminin düşmesine katkı sağlamaktadır (Naik vd., 2024).

YÖNTEM

Bu çalışma, 10 kW gücündeki bir GSMSM modeli üzerinde rotor tasarım parametrelerinin değiştirilmesi yoluyla tork dalgalanması ve vuruntu torkunun azaltılmasını hedeflemektedir. Motor performansının optimizasyonunun rolü, SEY kullanılarak incelenmiştir. Literatürde bu konuya ilişkin birçok çalışma bulunmakla birlikte, bu çalışmada rotor şaft bölgesinden

rotorun dış çapına kadar ayrıntılı bir analiz gerçekleştirilmiş ve tork dalgalanması ile vuruntu torku üzerinde en büyük etkiye sahip bölgeler araştırılmıştır. V şeklindeki mıknatıs düzenlemesi altı rotor parametresi temelinde ele alınmış, yüksek verimliliğin korunması hedeflenerek tork dalgalanması ve vuruntu torkunun azaltılması amaçlanmıştır.

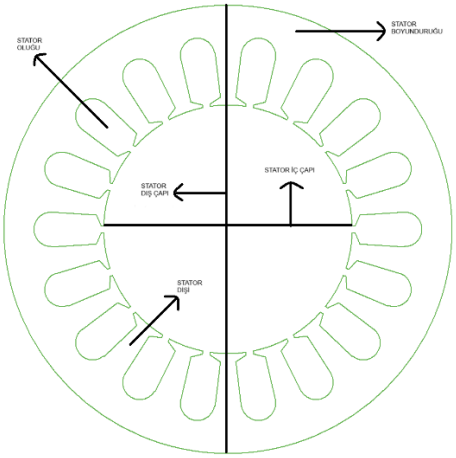
Tork dalgalanması, anlık torkun zamana bağlı değişiminden kaynaklanan bir etkidir (Zhou vd., 2018). GSMSM'lerde tork dalgalanması, manyetik asimetri, harmonikler ve mıknatıs konumlandırması gibi çeşitli faktörlerden kaynaklanabilmektedir (Idris vd., 2022). Torkun maksimum ve minimum değeri arasındaki fark, T_f, aşağıdaki denklem ile verilmektedir.

$$T_f = T_{maks} - T_{min}$$

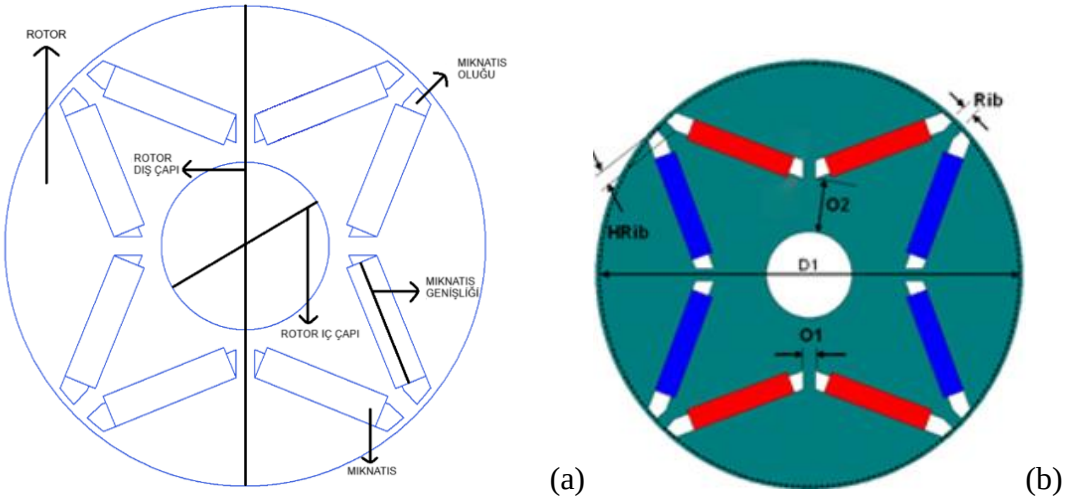
Tork dalgalanmasının yüzde cinsinden ifadesi, $T_{dalgalanma}$, aşağıdaki denklem ile, T_f değerinin ortalama torka, T_{ort} oranı olarak tanımlanmaktadır.

$$T_{dalgalanma} = \frac{T_f}{T_{ort}} x\ 100$$

Referans 10 kW GSMSM modelinin stator ve rotor yapıları sırasıyla Şekil 1 ve Şekil 2'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Stator Yapısı



Şekil 2. (a) Rotor Yapısı ve (b) Rotordaki Mıknatıs Yuvalarının Geometrik Boyutları: HRib, O2, D1, Rib ve O1

Şekil 1, statorun 18 oluklu olduğunu göstermektedir. Şekil 2, rotorun temel parametrelerini göstermektedir.

Tablo 1, referans 10 kW GSMSM modelinin temel parametrelerini, kritik teknik özelliklerini ve performans metriklerini içermektedir. Bu parametreler, çalışma boyunca gerçekleştirilen analizlerin temelini oluşturmakta olup, motorun tasarım ve çalışma karakteristiklerine ilişkin kapsamlı bir genel bakış sunmaktadır.

Tablo 1. Referans GSMSM'in Teknik Özellikleri

Parametre	**10 kW GSMSM**
Stator Kutup Sayısı	4
Stator Oluk Sayısı	18
Stator Dış Çapı	180 mm
Stator İç Çapı	100 mm
Stator Uzunluğu	80 mm
Stator Çelik Tipi	M19_24G
Rotor Kutup Sayısı	4
Rotor Dış Çapı	99 mm
Rotor İç Çapı	30 mm
Rotor Uzunluğu	80 mm
Rotor Çelik Tipi	M19_24G
Mıknatıs Tipi	XG196/96
Nominal Hız	3600 dev/dak
Nominal Çıkış Gücü	9999.64 W
Nominal Tork	26.5249 Nm
% Verimlilik	96.336
Toplam Kayıplar	380.36 W

Rotor parametrelerinin, yani HRib, O2, D1, Rib, O1 ve mıknatıs genişliğinin vuruntu torku ve tork dalgalanması üzerindeki etkileri SEY analizi kullanılarak incelenmiştir. Bu parametreler, motor tork performansı üzerindeki bireysel ve birleşik etkilerini değerlendirmek amacıyla belirlenen aralıklarda parametrik olarak analiz edilmiştir. En uygun tasarım konfigürasyonu, minimum vuruntu torku ve tork dalgalanması sağlanarak elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, rotordaki belirli geometrik değişikliklerin tork karakteristikleri üzerindeki etkisine dair önemli bilgiler sunmuştur.

Öncelikle, D1 parametresinin tork dalgalanması ve tepeden tepeye vuruntu torku, $T_{vur,t-t}$ üzerindeki etkisi değerlendirilmiş, ardından bu performans karakteristiklerine olan katkısını belirlemek amacıyla Rib parametresi analiz edilmiştir. Bu analizlerin tamamlanmasının ardından, O1 ve O2 parametrelerinin tork dalgalanması ve tepeden tepeye vuruntu torkunu azaltmadaki rolleri araştırılmıştır. Çalışma daha sonra, HRib parametresinin önceden

belirlenen motor performans parametreleri üzerindeki etkisini incelemeye devam etmiştir. Son olarak, mıknatıs genişliğinin tork dalgalanması ve $T_{vur,t-t}$ üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Analizlerde, parametrelerin maksimum veya minimum değeri belirlendikten sonra, değerler 0.25 mm'lik adımlarla ayarlanmıştır. Her bir parametrenin etkisini net bir şekilde ortaya koyabilmek ve izole edebilmek adına, analiz sırasında incelenen parametreler dışındaki tüm parametreler sabit tutulmuştur.

ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Tablo 2, D1 parametresinin tork dalgalanması ve stator sargılarına akım uygulanmadan rotorun hareketiyle elde edilen $T_{vur,t-t}$ üzerindeki etkisini göstermektedir. D1 değeri 93 mm olduğunda verimlilik %95.416'ya düşerken, D1 değeri 92 mm olduğunda nominal tork 23.8947 Nm'ye gerilemektedir. Bu nedenle, analizler daha büyük değerler için gerçekleştirilmiştir. Rotorun dış çapı 99 mm olduğundan, D1 değeri bu değere eşit olamaz; bu nedenle, D1 için maksimum değer 98 mm olarak belirlenmiş ve analizler buna göre gerçekleştirilmiştir.

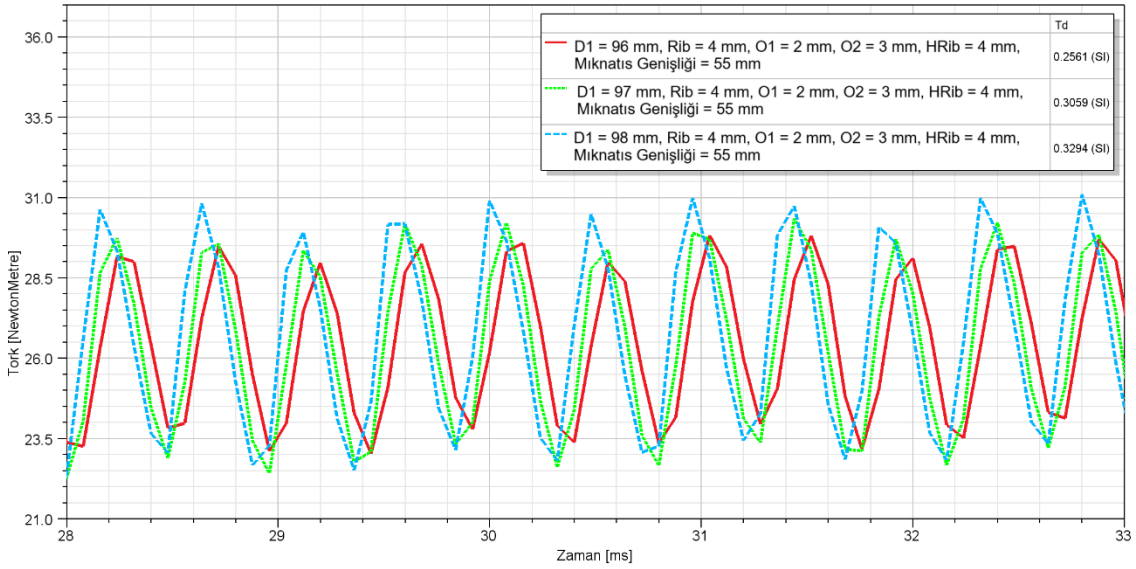
Tablo 2. D1 Parametresinin Tork Dalgalanması ve Tepeden Tepeye Vuruntu Torku Üzerindeki Etkisi

D1 (mm)	Tork Dalgalanması (%)	Tepeden Tepeye Vuruntu Torku (Nm)
96	25.61	0.7523
96.25	26.17	0.7726
96.5	27.92	0.7959
96.75	29.11	0.8210
97	30.59	0.8552
97.25	31.36	0.8843
97.5	31.38	0.9279
97.75	32.38	0.9725
98	32.94	1.0130

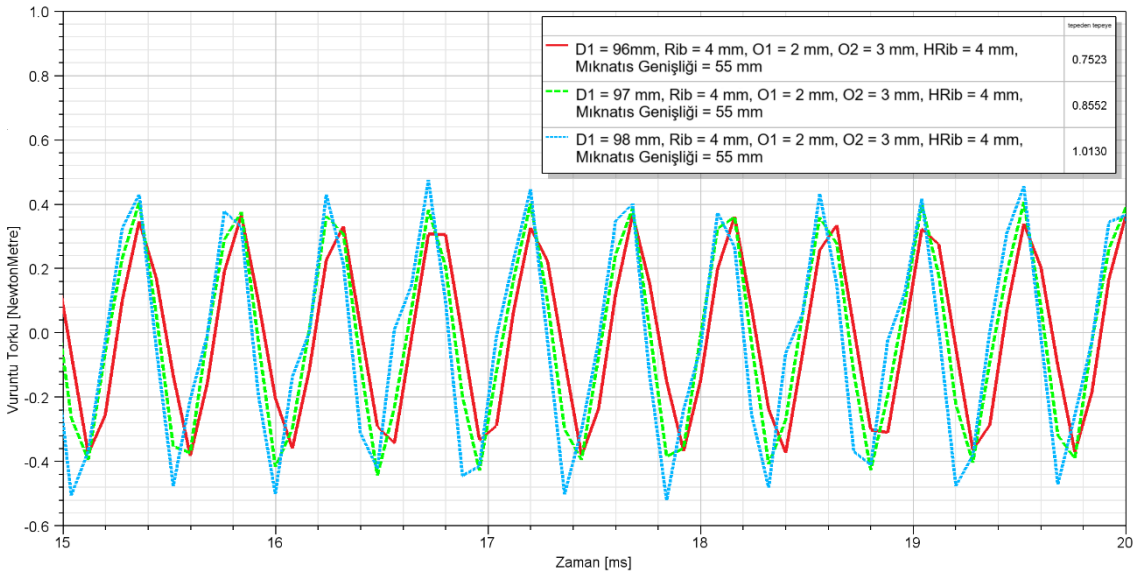
Tabloya göre, D1 hem tork dalgalanması hem de $T_{vur,t-t}$ üzerinde etkiye sahiptir. D1 değerinin 96 mm'den 98 mm'ye kadar artırılmasıyla tork dalgalanması kademeli olarak artmıştır. Benzer şekilde, $T_{vur,t-t}$ değeri belirtilen aralıkta 0.7523 Nm'den 1.0130 Nm'ye yükselmektedir. Bu değerlerin geniş aralığı, D1 parametresinin motor tork performansı üzerindeki önemli etkisini göstermekte ve tasarım sürecinde dikkatli bir şekilde optimize edilmesinin gerekliliğini vurgulamaktadır.

Şekil 3, analiz edilen GSMSM için D1 parametresine ait üç spesifik değer olan 96 mm, 97 mm ve 98 mm için tork dalgalanması ve $T_{vur,t-t}$ değerlerini göstermektedir. Şekil, motor çalışması sırasında torkun dinamik davranışını ortaya koyarak D1 parametresinin tork

dalgalanması ve vuruntu torku salınımları üzerindeki etkisini detaylı bir şekilde göstermektedir.



(a)



(b)

Şekil 3. (a) D1 Parametresinin Tork Dalgalanması Üzerindeki Etkisi ve (b) Değişen D1 ile Vuruntu Torku Analizi

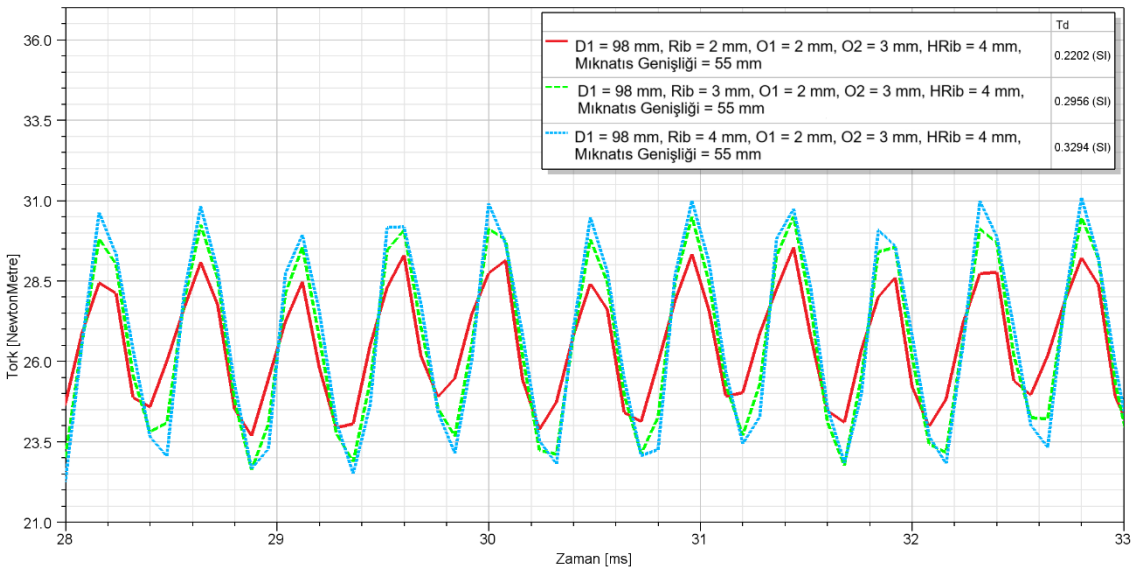
Tablo 3, rib genişliğinin tork dalgalanması ve tepeden tepeye vuruntu torku üzerindeki etkisini göstermektedir. Mıknatıs yuvalarının, rib değeri 0 mm olduğunda üst üste gelmesi söz konusu olacağından, zıt kutuplu mıknatısları içeren yuvaların üst kısımları arasında yeterli boşluk sağlamak amacıyla minimum değer olarak 2 mm referans alınmış ve ardından değerler artırılmıştır. Rib değerinin azaltılmasının motor tork performansı üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğu tespit edildiğinden, maksimum 4 mm eşik değeri aşan ek artışlara gerek duyulmamıştır.

Tablo 3. Rib Genişliğinin Tork Dalgalanması ve Tepeden Tepeye Vuruntu Torku Üzerindeki Etkisi

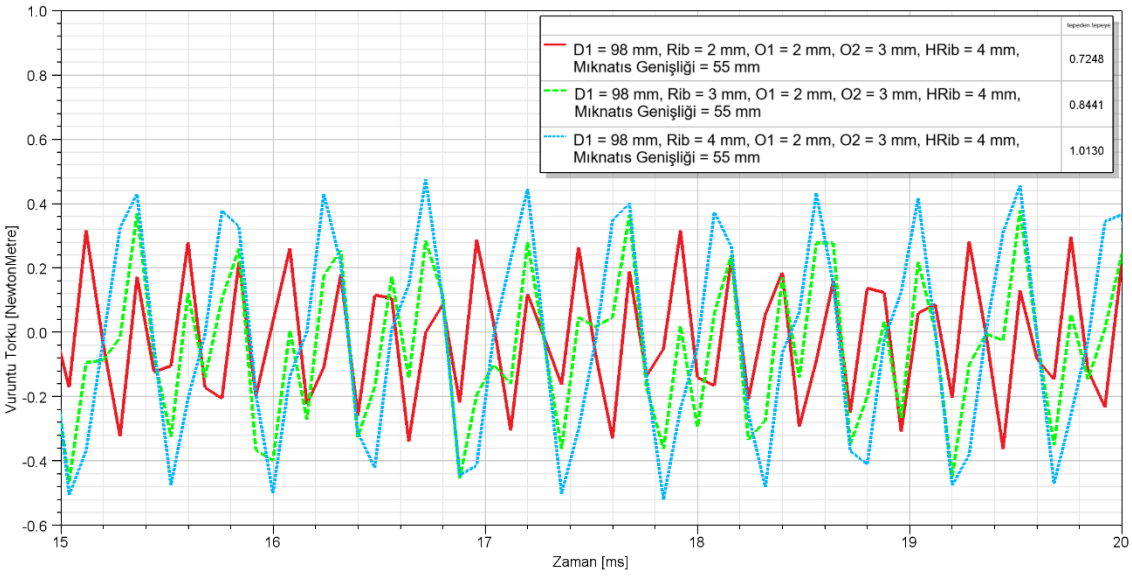
Rib Genişliği (mm)	Tork Dalgalanması (%)	Tepeden Tepeye Vuruntu Torku (Nm)
2	22.02	0.7248
2.25	25.01	0.5978
2.5	27	0.6430
2.75	28.14	0.7633
3	29.56	0.8441
3.25	30.49	0.9330
3.5	31.36	0.9967
3.75	31.78	1.0367
4	32.94	1.0130

Tablo, rib genişliğindeki değişimin hem tork dalgalanması hem de $T_{vur,t-t}$ üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Tork dalgalanması değeri %22.02 ile %32.94 arasında değişirken, $T_{vur,t-t}$ değeri rib genişliğinin artmasıyla 0.5978 Nm'den 1.0130 Nm'ye yükselmektedir.

Şekil 4, seçilen üç farklı rib genişliği olan 2 mm, 3 mm ve 4 mm'nin etkisini göstermektedir. Grafikler, rib parametresinin motor çalışması sırasında tork davranışı üzerindeki etkisini görsel olarak sunarak tork dalgalanması ve vuruntu torku genliklerindeki değişimleri vurgulamaktadır. Şekilde gösterildiği gibi, rib genişliğinin artması her iki istenmeyen parametrenin de yükselmesine neden olmaktadır.



(a)



(b)

Şekil 4. (a) Rib Genişliğinin Tork Dalgalanması Üzerindeki Etkisi ve (b) Rib Parametresinin Vuruntu Torku Üzerindeki Etkisi

Tablo 4, V şeklinin iç uçları arasındaki mesafe olan O1 parametresinin tork dalgalanması ve $T_{vur,t-t}$ üzerindeki etkisini göstermektedir. O1 değeri 0 mm olduğunda, iki mıknatıs yuvası birleşeceğinden, minimum değer 2 mm olarak belirlenmiş ve ardından değerler artırılmıştır. O1 değerinin 4 mm'nin ötesine çıkarılmamasının nedeni, daha yüksek O1 değerlerinde mıknatısın oluğun dışına taşarak mıknatıs genişliğinin azaltılmasını gerektirmesidir. Bu durum, motorun gerekli torku üretmesini engellediği için daha fazla artış yapılmamıştır.

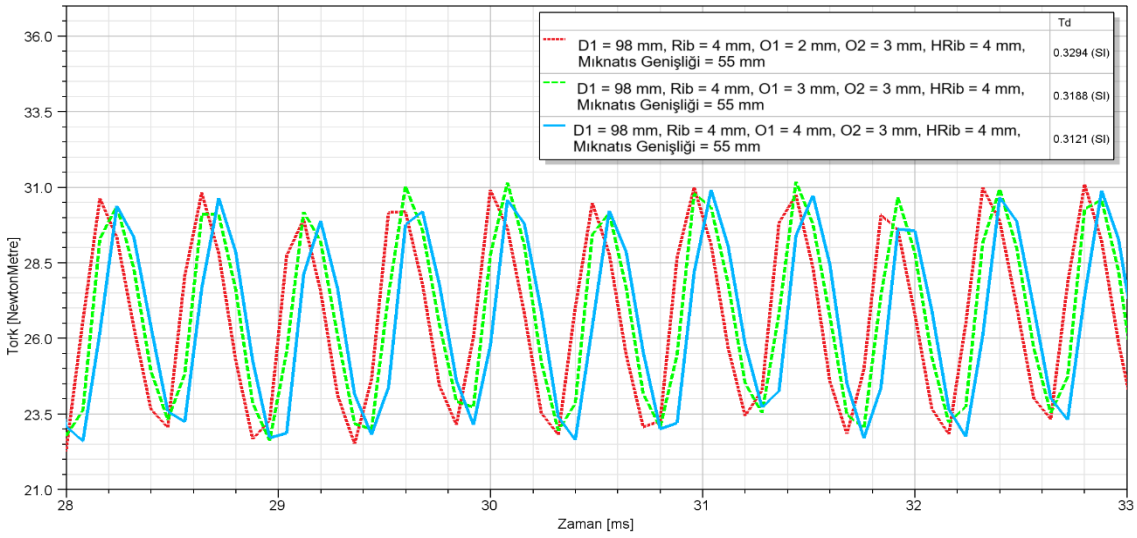
Tablo 4. O1'in Tork Dalgalanması ve Vuruntu Torku Üzerindeki Etkisi

O1 (mm)	Tork Dalgalanması (%)	Tepeden Tepeye Vuruntu Torku (Nm)
2	32.94	1.0130
2.25	32.02	0.9973
2.5	33.04	0.9733
2.75	32.88	0.9570
3	31.88	0.9479
3.25	33.02	0.9341
3.5	31.93	0.9113
3.75	31.48	0.8936
4	31.21	0.8808

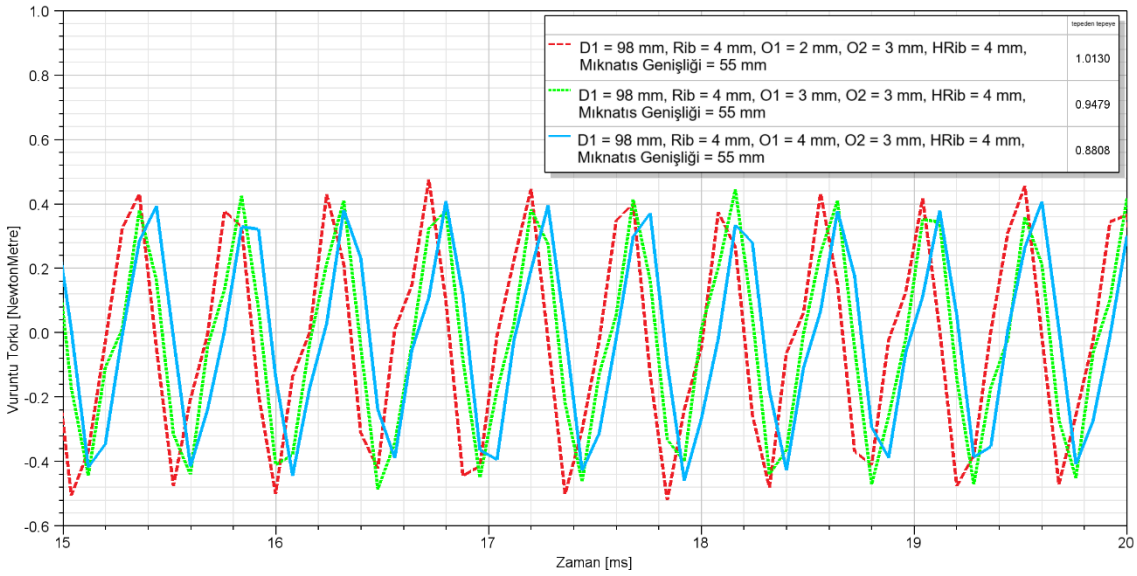
Tablo 4, O1 mesafesinin tork dalgalanması üzerinde doğrusal olmayan bir etkiye sahip olduğunu, buna karşın vuruntu torkunda doğrusal bir değişim gözlemlendiğini göstermektedir. Önceki analizlerle karşılaştırıldığında, bu parametrenin hem tork dalgalanması hem de $T_{vur,t-t}$ üzerindeki etkisinin nispeten daha düşük olduğu görülmektedir. Maksimum dalgalanma değeri, 2.5 mm'de 0.3304 olarak elde edilmiş olup, belirlenen aralıktaki değişimi

yalnızca %1.83'tür. Öte yandan, $T_{vur,t-t}$ değeri bu mesafenin artmasıyla birlikte kademeli olarak 0.8808 Nm'den 1.0130 Nm'ye yükselmiştir. Bu sınırlı değişim aralığı, O1 parametresinin motor tork performansı üzerindeki etkisinin diğer parametrelere kıyasla daha az önemli olduğunu göstermekte ve optimizasyonunun genel performansa daha sınırlı bir katkı sağlayabileceğini düşündürmektedir.

Şekil 5, O1 mesafesi için 2 mm, 3 mm ve 4 mm olmak üzere üç farklı değerde tork dalgalanması ve $T_{vur,t-t}$ değerlerini göstermektedir. Şekil, O1 mesafesinin tork dalgalanması ve $T_{vur,t-t}$ üzerinde nispeten daha az etkili olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca, V şeklinin iç uçları daha küçük değerlere yaklaştıkça hem tork dalgalanması hem de istenmeyen tork değerlerinin hafifçe arttığı gözlemlenmektedir.



(a)



(b)

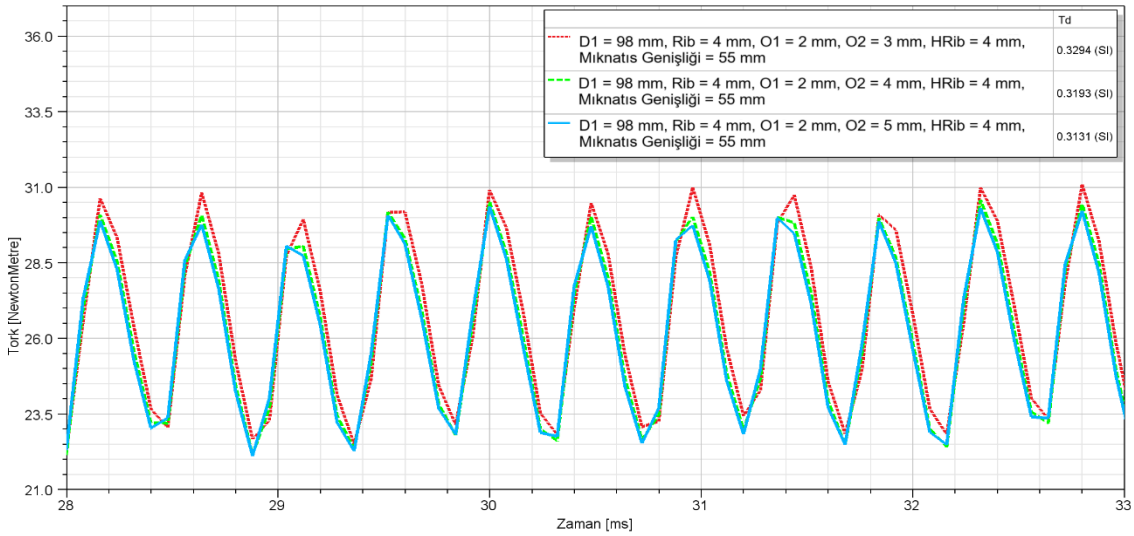
Şekil 5. (a) O1'in Tork Dalgalanması Üzerindeki Etkisi ve (b) O1 Parametresinin Vuruntu Torku Üzerindeki Etkisi

Tablo 5, bir kutuptaki V şekillerinin iç uçları ile mil arasındaki en kısa mesafe olan O2 parametresinin tork dalgalanması ve $T_{vur,t-t}$ üzerindeki etkisini göstermektedir. O2 değeri 0 mm olduğunda mıknatıslar manyetik mile temas edeceğinden, O2 değeri 0 mm olamaz. O2 değerinin 2 mm ile 6 mm arasında değişimi incelendiğinde, verimlilik ve ortalama tork gibi parametrelerin neredeyse sabit kaldığı gözlemlenmiştir. Bu nedenle, diğer parametrelerin analiz deseninde tutarlılığı sağlamak amacıyla, minimum O2 değeri 3 mm ve maksimum değeri 5 mm olarak belirlenmiştir.

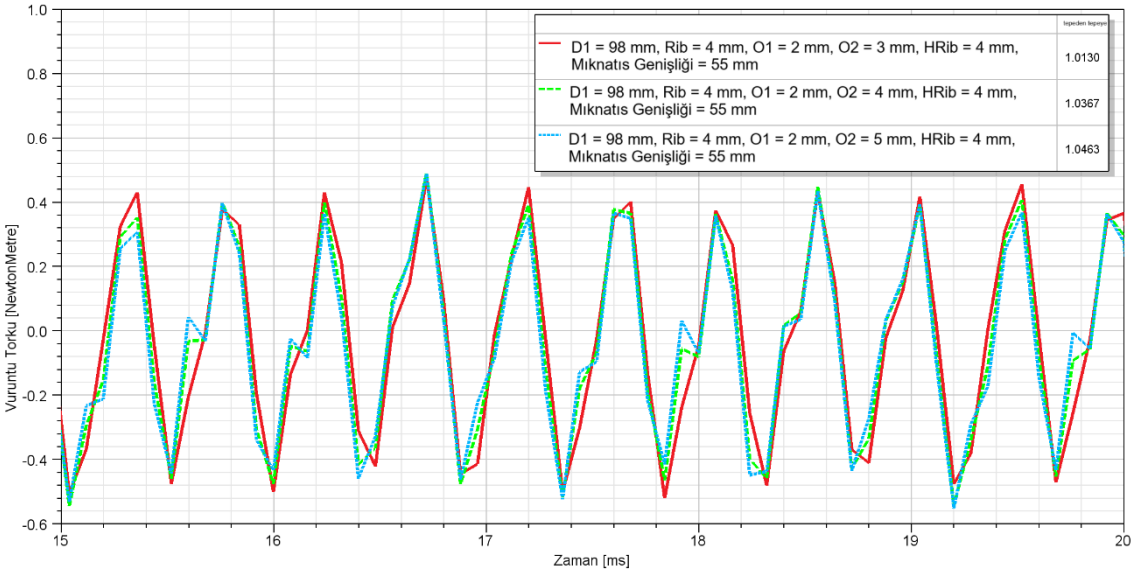
Tablo 5. O2'nin Tork Dalgalanması ve Vuruntu Torku Üzerindeki Etkisi

O2 (mm)	Tork Dalgalanması (%)	Tepeden Tepeye Vuruntu Torku (Nm)
3	32.94	1.0130
3.25	32.75	1.0175
3.5	32.50	1.0198
3.75	32.40	1.0417
4	31.93	1.0367
4.25	31.80	1.0392
4.5	31.56	1.0423
4.75	31.43	1.0424
5	31.31	1.0463

Tablo 5, O2 parametresindeki değişimin tork dalgalanması ve $T_{vur,t-t}$ üzerinde hafif bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Tork dalgalanması %31.31 ile %32.94 arasında değişirken, $T_{vur,t-t}$ değeri 1.0130 Nm'den 1.0463 Nm'ye yükselmektedir. Mıknatısların mile olan uzaklığının artmasının hem tork dalgalanması hem de $T_{vur,t-t}$ üzerinde önemli bir etkisi olmadığı görülmektedir. Şekil 6, üç farklı O2 mesafesi (3 mm, 4 mm ve 5 mm) için kararlı durum tork dalgalanmasını ve tepeden tepeye vuruntu torku salınımlarını göstermektedir.



(a)



(b)

Şekil 6. (a) O2'nin Tork Dalgalanması Üzerindeki Etkisi ve (b) O2 Parametresinin Vuruntu Torku Üzerindeki Etkisi

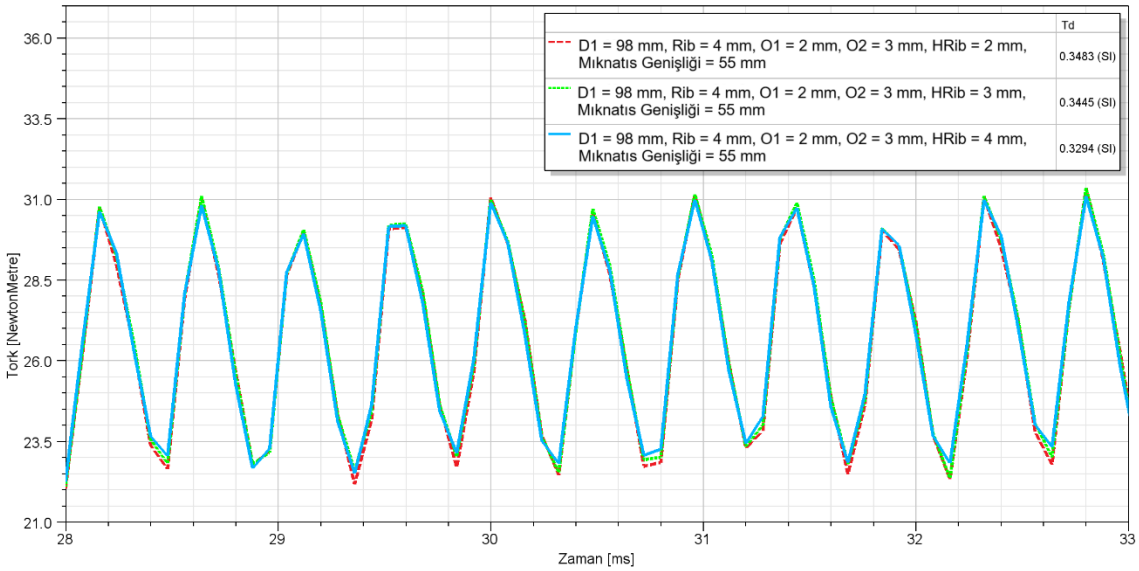
Tablo 6, HRib parametresinin tork dalgalanması ve $T_{vur,t-t}$ üzerindeki etkisini göstermektedir. HRib değerinin 0 mm olması, bu parametrenin bulunmadığını göstereceğinden, minimum HRib değeri 2 mm olarak belirlenmiş ve ardından artırılmıştır. HRib değerinin tork karakteristikleri üzerindeki etkisinin minimal olduğu belirlendiğinden, 4 mm'nin ötesinde ek analizler yapılmamıştır. Tablo, HRib parametresinin tork dalgalanması ve tepeden tepeye vuruntu torku üzerinde nispeten düşük bir etkiye sahip olduğunu kanıtlamaktadır. Tork dalgalanması %32.94 ile %35.06 arasında dar bir aralıkta değişirken, tepeden tepeye vuruntu torku değerleri 1.0130 Nm ile 1.2929 Nm arasında değişmektedir.

Tablo 6. HRib'in Tork Dalgalanması ve Vuruntu Torku Üzerindeki Etkisi

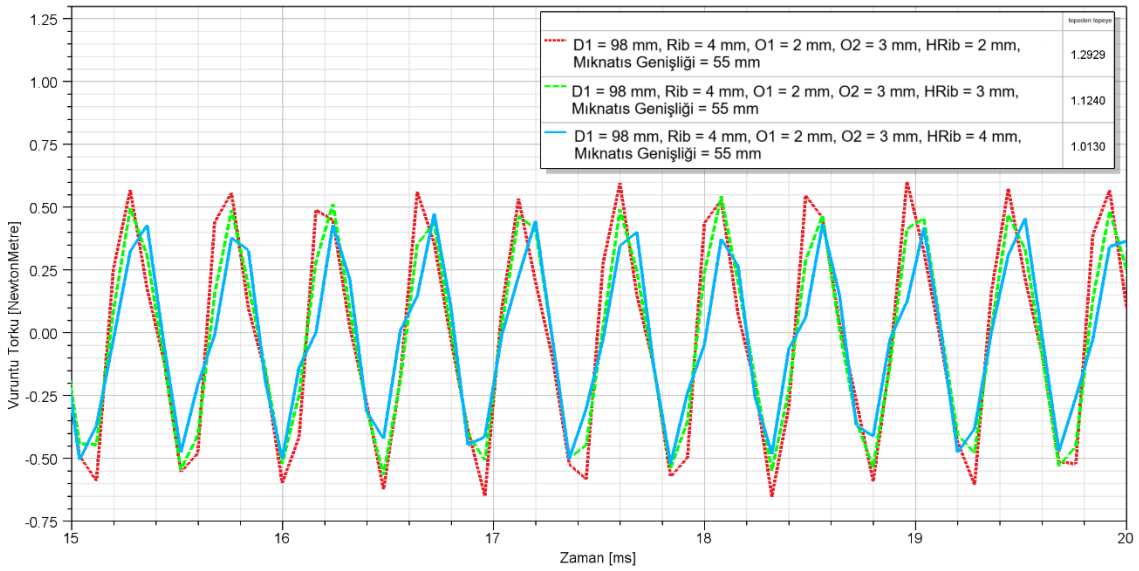
HRib (mm)	Tork Dalgalanması (%)	Tepeden Tepeye Vuruntu Torku (Nm)
2	34.83	1.2929
2.25	34.78	1.2195
2.5	35	1.1855
2.75	35.06	1.1602
3	34.45	1.1240
3.25	34.01	1.0709
3.5	33.92	1.0173
3.75	33.38	1.0056
4	32.94	1.0130

Şekil 7, üç farklı HRib değeri (2 mm, 3 mm ve 4 mm) için kararlı durum tork dalgalanmasını ve tepeden tepeye vuruntu torku salınımlarını göstermektedir. Şekil, HRib değerinin

artmasıyla hem tork dalgalanması hem de $T_{vur,t-t}$ değerlerinin azalma eğiliminde olduğunu göstermektedir. Ayrıca, HRib parametresinin motor tork performans metrikleri üzerinde nispeten düşük bir etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir.



(a)



(b)

Şekil 7. (a) HRib Parametresinin Tork Dalgalanması Üzerindeki Etkisi ve (b) HRib Parametresinin Vuruntu Torku Üzerindeki Etkisi

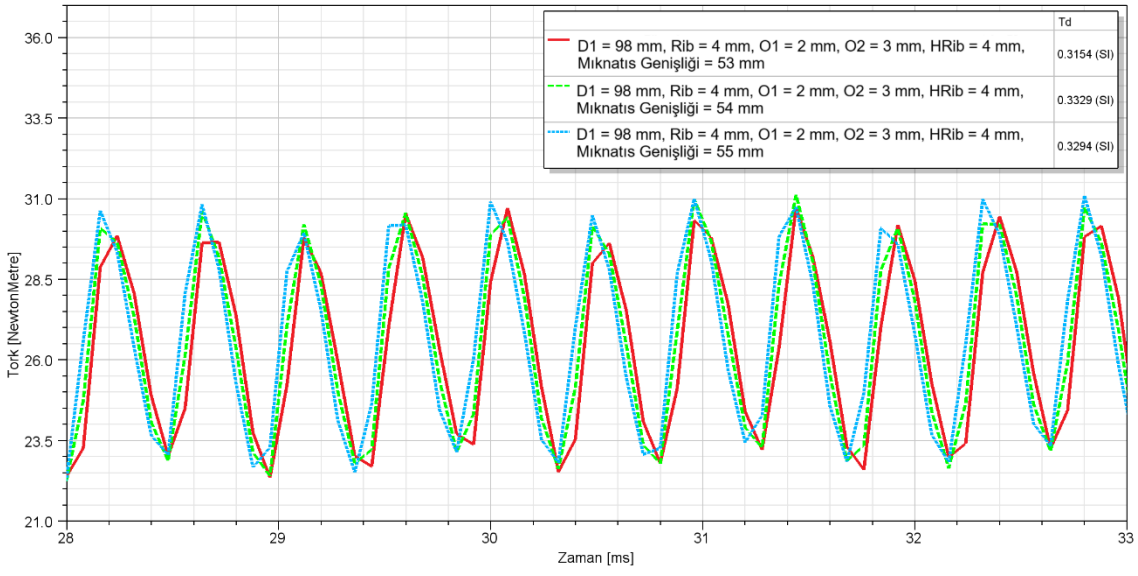
Tablo 7, mıknatıs genişliği parametresinin tork dalgalanması ve $T_{vur,t-t}$ üzerindeki etkisini göstermektedir. Mıknatıs genişliği 60 mm olduğunda, HRib bölgesini kapladığından, maksimum değer referans olarak 55 mm'ye ayarlanmış ve ardından azaltılmıştır. Mıknatıs genişliğinin tork karakteristikleri üzerindeki etkisinin minimal olduğu belirlendikten sonra, 53 mm'nin altındaki değerler için analiz yapılmamıştır. Tablo, mıknatıs genişliğinin tork

dalgalanması ve tepeden tepeye vuruntu torku üzerinde nispeten düşük bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Tork dalgalanması %31.54 ile %33.29 arasında dar bir aralıkta değişirken, tepeden tepeye vuruntu torku değerleri 0.9336 Nm ile 1.0130 Nm arasında değişmektedir.

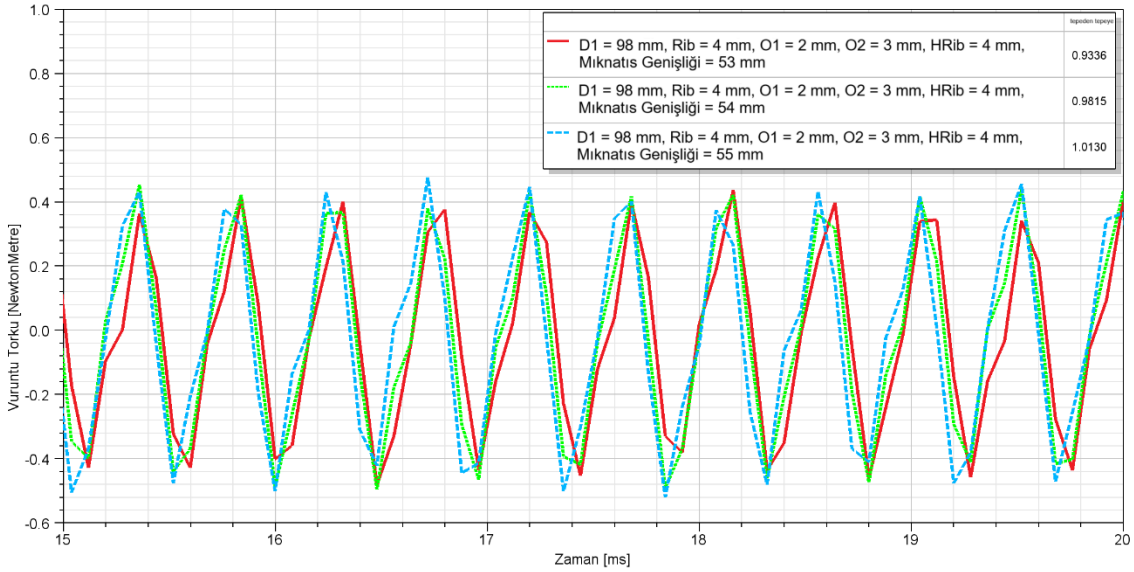
Tablo 7. Mıknatıs Genişliğinin Tork Dalgalanması ve Vuruntu Torku Üzerindeki Etkisi

Mıknatıs Genişliği (mm)	**Tork Dalgalanması (%)**	**Tepeden Tepeye Vuruntu Torku (Nm)**
53 mm	31.54	0.9336
53.25 mm	32.16	0.9343
53.5 mm	32.38	0.9431
53.75 mm	32.98	0.9710
54 mm	33.29	0.9815
54.25 mm	33.08	0.9909
54.5 mm	32	0.9990
54.75 mm	32.14	1.0065
55 mm	32.94	1.0130

Şekil 8, üç farklı mıknatıs genişliği parametresi (53 mm, 54 mm ve 55 mm) için kararlı durum tork dalgalanmasını ve tepeden tepeye vuruntu torku salınımlarını göstermektedir. Şekil 8, mıknatıs genişliği parametresinin motor tork performans metrikleri üzerinde nispeten düşük bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir.



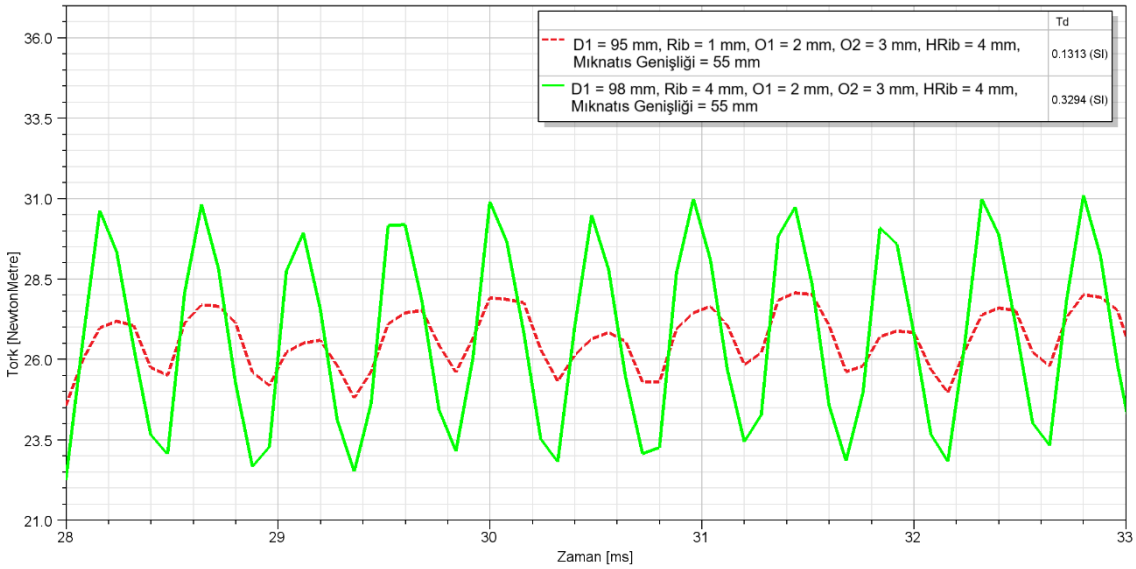
(a)



(b)

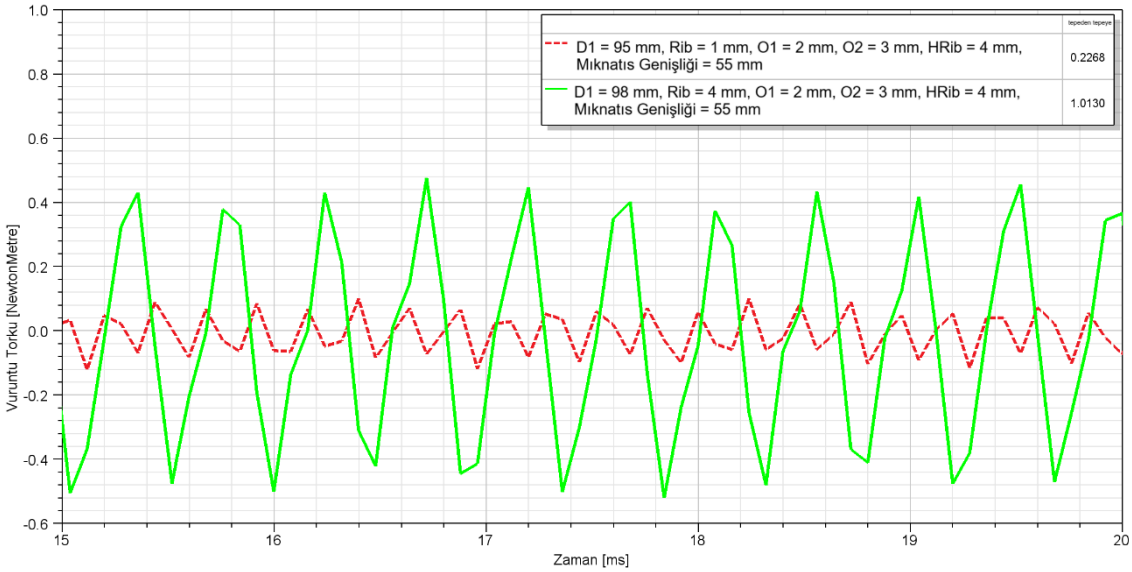
Şekil 8. (a) Mıknatıs Genişliğinin Tork Dalgalanması Üzerindeki Etkisi ve (b) Mıknatıs Genişliğinin Vuruntu Torku Üzerindeki Etkisi

SEY analizlerinden elde edilen sonuçlar, incelenen parametreler arasında D1 ve Rib'in tork karakteristikleri üzerinde en etkili faktörler olduğunu göstermektedir. Bu kritik parametrelerin ayarlanması, tork karakteristiklerinde önemli değişimlere neden olmakta ve 10 kW GSMSM için rotor tasarım optimizasyonundaki önemlerini vurgulamaktadır. Sonraki bölümde, en etkili parametreler olan Rib ve D1'in tork dalgalanması ve tepeden tepeye vuruntu torku üzerindeki etkilerini hem optimal hem de optimal olmayan değerler altında incelemek için karşılaştırmalı bir analiz gerçekleştirilmiştir. Tüm diğer tasarım değişkenleri sabit tutulurken bu iki etkili parametrenin değiştirilmesiyle, çalışmada Rib ve D1'in motor tork performansı üzerindeki belirgin etkisi ortaya konmuştur.



Şekil 9. D1 ve Rib Parametrelerin Tork Dalgalanması Üzerine Analizi

Şekil 9, D1 ve Rib parametreleri optimal değerlere ayarlandığında tork dalgalanmasının önemli ölçüde azaldığını göstermektedir. Özellikle, bu ayarlamalar sonucunda tork dalgalanması yaklaşık %32.94'ten %13.13'e düşmekte olup, D1 ve Rib'in tork dalgalanması üzerindeki belirgin etkisini vurgulamaktadır. Öte yandan, D1 ve Rib için optimal olmayan değerlerin kullanılması tork dalgalanmasının artmasına yol açarak motorun performansını olumsuz etkilemektedir.



Şekil 10. D1 ve Rib Ana Parametrelerin Vuruntu Torku Üzerine Analizi

Şekil 10, tepeden tepeye vuruntu torkunun etkili parametreler olan D1 ve Rib'den önemli ölçüde etkilendiğini göstermektedir. Bu parametreler optimize edildiğinde, vuruntu torku yaklaşık 1.0130 Nm'den 0.2268 Nm'ye kadar önemli ölçüde azalmakta ve motorun stabilitesini artırmaktadır. Buna karşın, D1 ve Rib için optimal olmayan değerlerin kullanılması, vuruntu torkunda belirgin bir artışa neden olarak daha yüksek titreşim ve gürültüye yol açabilmektedir. Bu bulgular, vuruntu torkunu minimize etmek ve motorun çalışma stabilitesini artırmak için D1 ve Rib parametrelerinin optimize edilmesinin kritik önemini vurgulamaktadır.

SONUÇ

Bu çalışma, 10 kW gücündeki bir GSMSM'de rotor tasarım parametrelerinin tork dalgalanması ve tepeden tepeye vuruntu torku üzerindeki etkisini SEY analizi kullanarak incelemektedir. Analiz sonuçları, D1 ve Rib'in motor tork performansını artırmada en etkili parametreler olduğunu, buna karşın O1, O2, HRib ve mıknatıs genişliği gibi diğer parametrelerin performans üzerinde ihmal edilebilir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, D1 değerinin 98 mm'den 95 mm'ye ve Rib değerinin 4 mm'den 1 mm'ye optimize edilmesi, tork dalgalanmasını %32.94'ten %13.13'e, tepeden tepeye vuruntu torkunu ise 1.0130 Nm'den 0.2268 Nm'ye düşürerek önemli iyileştirmeler sağlamaktadır. Böylece, titreşim ve gürültü en aza indirilerek daha düzgün bir çıkış torku ve geliştirilmiş motor

stabilitesi elde edilmiştir. Ayrıca, motor yüksek verimliliğini korumuş olup, yalnızca %96.336'dan %96.182'ye hafif bir düşüş gözlemlenmiştir. Ortalama tork her iki konfigürasyonda da yaklaşık 26.52 Nm seviyesinde sabit kalmış ve güvenilir bir performans sağlanmıştır.

Analiz sonuçları, GSMSM'lerde performans iyileştirmesi için D1 ve Rib parametrelerinin optimize edilmesinin etkinliğini desteklemektedir. Gelecek çalışmalarda, yapay zekâ tabanlı bir optimizasyon yöntemi kullanılabilir ve elde edilen sonuçlar bu analizlerle karşılaştırılabilir. Ayrıca, optimize edilen GSMSM'in üretimi ve testleri gerçekleştirilerek bu motorun uygulanabilirliği değerlendirilebilir.

KAYNAKLAR

Ahmadi, S., Lubin, T., Vahedi, A., & Taghavi, N. (2021). Sensitivity-Based Optimization of Interior Permanent Magnet Synchronous Motor for Torque Characteristic Enhancement. *Energies*, *14*(8), 2240.

Dong, J., Gu, A., Yang, M., & Zhang, D. (2020). A Method for Improving Torque Performances of IPMSM. *2020 8th International Conference on Power Electronics Systems and Applications (PESA)*, 1–6.

Donmezer, Y., & Ergene, L. T. (2010). Skewing effect on interior type BLDC motors. *The XIX International Conference on Electrical Machines - ICEM 2010*, 1–5.

Idris, A., Negara, I. M. Y., Asfani, D. A., & Nugraha, Y. U. (2022). Torque Analysis of V-type Interior PMSM for Electric Vehicle Based on FEA Simulation. *2022 6th International Conference on Information Technology, Information Systems and Electrical Engineering (ICITISEE)*, 1–6.

Juhaniya, A. I. S., Ibrahim, A. A., Mohd Zainuri, M. A. A., Zulkifley, M. A., & Remli, M. A. (2022). Optimal Stator and Rotor Slots Design of Induction Motors for Electric Vehicles Using Opposition-Based Jellyfish Search Optimization. *Machines*, *10*(12), 1217.

KARTAL, E. T., & KESKİN ARABUL, F. (2022). Elektrikli Araçlar için Aynı Stator Gövdesine Sahip Asenkron Motor ile Gömülü Sürekli Mıknatıslı Senkron Motorun Karşılaştırılması ve Performans Analizi. *European Journal of Science and Technology*; *38*: 165-172.

Kim, H.-J., & Baek, S.-W. (2024). Optimal shape design to improve torque characteristics of interior permanent magnet synchronous motor for small electric vehicles. *Microsystem Technologies*.

Moon, J.-H., & Kang, D.-W. (2022). Torque Ripple and Cogging Torque Reduction Method of IPMSM Using Asymmetric Shoe of Stator and Notch in Stator. *Journal of Electrical Engineering & Technology*; *17*: 3465–3471.

Naik, S., Bag, B., & Chandrasekaran, K. (2024). Optimization of Flux Barrier in Asymmetric V-Shaped IPM Motor and Analysis of Its Impact on Performance. *Arabian Journal for Science and Engineering*, *49*(5), 6225–6239.

Shimizu, Y., Morimoto, S., Sanada, M., & Inoue, Y. (2023). Investigation of Rotor Topologies for Reducing Torque Ripple in Double-Layer IPMSMs for Automotive Applications. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, *70*(8), 8276–8285.

Song, C.-H., Kim, D.-H., & Kim, K.-C. (2021). Design of a Novel IPMSM Bridge for Torque Ripple Reduction. *IEEE Transactions on Magnetics*, *57*(2), 1–4.

Stamenkovic, I., Jovanovic, D., & Vukosavic, S. (2005). Torque Ripple Verification in PM Machines. *EUROCON 2005- The International Conference on "Computer as a Tool,"* 1497–1500.

Suriano-Sánchez, S. I., Ponce-Silva, M., Olivares-Peregrino, V. H., & De León-Aldaco, S. E. (2022). A Review of Torque Ripple Reduction Design Methods for Radial Flux PM Motors. *Eng*, *3*(4), 646–661.

Zhou, C., Huang, X., Fang, Y., & Wu, L. (2018). Comparison of PMSMs with Different Rotor Structures for EV Application. *2018 XIII International Conference on Electrical Machines (ICEM)*, 609–614.

ANALYSIS OF POWER FACTOR AND VOLTAGE STABILITY IN SOLAR POWER PLANTS WITH PSS@SINCAL

GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALLERİNDE GÜÇ FAKTÖRÜ ve GERİLİM KARARLILIĞININ PSS@SINCAL ile ANALİZİ

Emine İŞİN
Res.Asst., Konya Technical University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Eng.
ORCID NO: 0000-0001-9759-0294

Nurettin ÇETİNKAYA
Prof., Konya Technical University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Eng.
ORCID NO: 0000-0002-6111-7769

ABSTRACT

With the decrease in fossil fuel reserves and the increase in energy demand, the tendency towards renewable energy sources has increased. The most commonly used among these sources are wind, solar, and hydroelectric systems. While solar energy stands out as a sustainable alternative, the integration of these systems into the grid presents some technical difficulties. In the study, the effects of the solar energy system on the power factor, voltage stability, harmonic analysis, and load flow in different load scenarios by connecting it to the grid were examined. Within the scope of the study, a system including photovoltaic (PV) panels, Maximum Power Point Tracking (MPPT), DC/AC inverters, and filters was modeled and simulations were performed using MATLAB/SIMULINK software. It was examined how the system performed at different temperatures and radiation levels, and its effects on voltage stability and power factor were evaluated. Ensuring stability is important for system security in order for power systems to operate uninterruptedly and stably. Increasing energy demand puts pressure on system stability and necessitates various technical regulations. In this study, the factors affecting stability in solar energy systems were evaluated. While reactive power compensation is used as an important tool for voltage control, the correct determination of the power factor is also of great importance in terms of system efficiency. It is seen that technical elements such as cable and inverter selection are directly related to the power factor during the installation of solar power plants. Knowing this parameter facilitates the selection of appropriate materials. Using Siemens PSS®SINCAL power system analysis software, load flow, voltage stability, and power factor analyses were performed according to different load scenarios, and the performance of the system was examined in detail. As a result, the grid-connection of solar power plants to the grid

Keywords: active power, compensation, PV, power factor, reactive power, voltage stability

ÖZET

Fosil yakıt rezervlerinin azalması ve enerji ihtiyacının artmasıyla birlikte yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim artmıştır. Bu kaynaklar arasında en yaygın kullanılanlar rüzgar, güneş ve hidroelektrik sistemleridir. Güneş enerjisi, sürdürülebilir bir alternatif olmakla birlikte, bu sistemlerin şebekeye entegrasyonu bazı teknik problemleri ortaya çıkmaktadır. Yapılan çalışmada, güneş enerjisi sisteminin şebekeye bağlanarak farklı yük senaryolarında güç faktörü, gerilim kararlılığı, harmonik analizi ve yük akışı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışma kapsamında, fotovoltaik (PV) paneller, Maksimum Güç Noktası Takibi (MPPT), DC/AC eviriciler ve filtreler içeren bir sistem modellenmiş ve MATLAB/SIMULINK yazılımı kullanılarak simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Sistemin, farklı sıcaklık ve ışınım seviyelerinde nasıl performans gösterdiği incelenmiş, gerilim kararlılığı ve güç faktörü üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Güç sistemlerinin kesintisiz ve stabil çalışabilmesi için kararlılığın sağlanması sistem güvenliği açısından önemlidir. Artan enerji talebi, sistem kararlılığı üzerinde baskı oluşturmakta ve çeşitli teknik düzenlemeleri zorunlu kılmaktadır. Bu çalışmada, güneş enerjisi sistemlerinde kararlılığı etkileyen faktörler değerlendirilmiştir. Gerilim kontrolü için reaktif güç kompanzasyonu önemli bir araç olarak kullanılırken, güç faktörünün doğru belirlenmesi de sistem verimliliği açısından büyük önem taşımaktadır. Güneş santrallerinin kurulumu sırasında kablo ve invertör seçimi gibi teknik unsurların güç faktörüyle doğrudan ilişkili olduğu görülmektedir. Bu parametrenin bilinmesi, uygun malzeme seçimini kolaylaştırmaktadır. Siemens PSS®SINCAL güç sistem analizi yazılımı kullanılarak, farklı yük senaryolarına göre yük akışı, gerilim kararlılığı ve güç faktörü analizleri yapılmış ve sistemin performansı detaylı olarak incelenmiştir. Sonuç olarak, güneş enerji santrallerinin şebekeye entegrasyonunda gerilim dalgalanmalarının ve güç faktörü sorunlarının minimize edilmesi gerekliliği gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: aktif güç, gerilim kararlılığı, güç faktörü, kompanzasyon, PV, reaktif güç.

INTRODUCTION

The use of fossil fuels leads to serious environmental problems. This situation has increased the interest in renewable energy sources day by day. Decreasing reserves of fossil resources, increasing population, fluctuations in prices, industrialization, and demand for electrical energy have made renewable energy attractive.

Renewable energy sources are used in various ways in developed and developing countries. Sources such as solar, biomass, wind, wave, hydrogen, etc. are used, especially for electricity generation. Solar power plants (SPP), wind power plants (WPP), and hydroelectric power plants (HEPP) can be given as alternative examples to meet electrical energy needs. Despite the developments in the field of renewable energy, fossil resources will continue to maintain their superiority.

Increasing energy needs have brought various problems on the user side. Harmonic, voltage collapse, voltage rise, flicker, and power factor distortions that occur using network elements are more common with technological developments. Changes in voltage level affect the power quality parameters on the subscriber side. Changes in voltage level affect active and reactive power consumption. This consumption causes the power factor on the subscriber side to change. The changes that occur affect the power flows on the grid side and affect the billing.

Voltage fluctuation, flicker, harmonic distortions, network voltage and frequency changes are some of the problems encountered in the network integrations of generation plants.

Stability studies in power systems have been going on for many years. The purpose of the examinations in power systems is to determine the limit values at which the system can operate stably by making a real-time evaluation of the systems. Complex forces can cause voltage instabilities in power systems. Voltage stability assessments in large enterprises can prevent voltage collapse and many network disturbances.

Voltage stability is the ability to maintain a stable voltage value after the disruptive effect that occurs in the system.

Failure to meet the requested reactive power causes voltage instability in the systems. If the demand for reactive power used in the system increases, voltage drops occur. The system draws current to compensate for this voltage drop. Excess current draws cause excessive reactive power consumption in the lines and instability in the system. Voltage drops that cannot be eliminated for a long time can cause voltage collapses. Voltage stability studies are of great importance to prevent malfunctions, line interruptions, and voltage collapse in the system.

The inability to adjust the power factor to the desired values in the integration of distribution facilities into the network causes many technical problems. Low power quality, the fact that the power factor is not within the specified ranges causes some problems on the consumer side. For the network to work effectively and efficiently, problems in the system should be identified and solutions should be offered. To contribute to these solution proposals, it is vital to determine the power factor and voltage stability in a system.

In the study, the simulation of solar power plants was carried out in MATLAB/SIMULATING environment, and the power factor was determined in the study, and the power flow and stability analysis of the power system were obtained with the PSS@SINCAL program. The obtained values are presented comparatively. After giving summary information about the characteristics of grid-connected photovoltaic systems and the subject, the previous studies were mentioned. The grid-connected single-phase and three-phase photovoltaic system was modeled in MATLAB/SIMULINK. Voltage stabilities were examined for each scenario created by the PSS@SINCAL program of the photovoltaic system. In addition, the voltage stability between the photovoltaic system and the grid during

the synchronization process, the voltage increases in the network when the system is unloaded, the voltage measured in the photovoltaic system, load, and network after synchronization, and the power are supported by the graphs obtained with the program shown separately.

Tan et al. (2004) have developed a model based on experimental results showing that the MPPT controller plays a critical role in the dynamic response of the PV system. The proposed model has the ability to represent the response of the system to both small and large changes in radiation and AC mains voltage. The accuracy of the model is demonstrated by comparing the simulated response with the experimental results.

Fateh et al. (2016) In their study, they examined the voltage stability of the busbars in the system after the system was exposed to any deterioration. In this research study, voltage stability, active power (P), reactive power (Q), reactive power voltage (QV) and active power voltage were examined by choosing the IEEE 30-busbar system as the power system. Load flow analysis is simulated using Power World Simulator.

Sinvula et al. (2019), conducted a case study to analyze the harmonic distortion that occurs in PV systems and highlight its possible limitations. In this study, a field study of a 5 MW Solar PV power plant and a radial distribution network is discussed. The system was modeled and simulated using DigSilent software to assess the total harmonic distortion (THD) at the common junction. Various methodologies have been proposed to distribution system operators to reduce the harmonic effect and develop the appropriate solution.

Sundar (2018)In his simulation, he successfully controlled the power angle and voltage amplitude of the PV in the grid connection. The purpose of the study is to control the flow of active power to the grid according to the level of insolation. It also offers control of reactive power drawn from the grid. In addition, the control of the reactive power flow improves the power factor of the network, transformer and cable overloads are avoided, and helps to reduce transmission losses. With this proposed PV system, it can also be used as a reactive power support system to the grid in the absence of insolation. In the recommended operation, active power control is carried out manually using switches.

METHOD

When the studies on the subject are examined, it is seen that voltage stability and active-reactive power in solar power plants are made with different methods and methods. First of all, different methodologies have been applied to ensure stress stability. It is seen that the P&Q method used in solar power plants gives positive results. In addition to these, developing and changing network conditions were examined. Compensation methods in solar power plants were examined. Modeling of a PV system directly connected to the three-phase grid with the range of MATLAB/Simulink-SimPower Systems and determination of the power factor was made. Siemens' PSS®SINCAL power system analysis program was used to

analyze load flow, voltage stability and power factor and evaluate different scenarios depending on the current load.

The equivalent circuit of the solar cell was made by Lorenzo in 1994 (Lorenzo, 1994). When creating the equivalent circuit of solar cells, a circuit model is created using a current source, a parallel diode connected to it, and series and parallel resistors connected to them. The electrical equivalent circuit model of the solar cell is given in Figure 1 (Chouder et al., 2012).

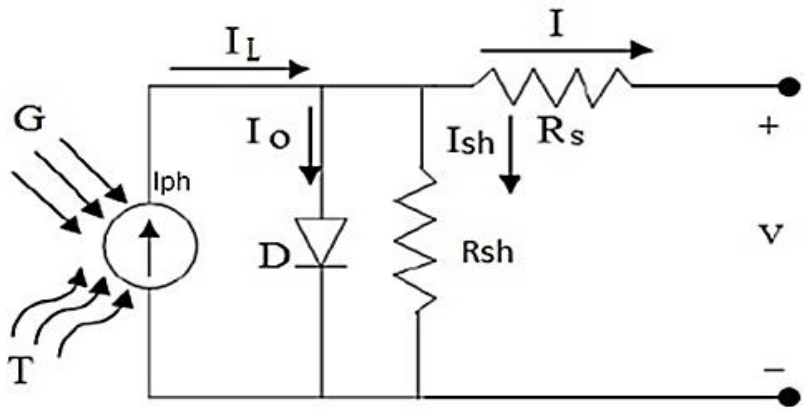


Figure 1. Working technique of the PV cell

The equations for diode voltage and current are given in Eq. (1) and (2) and (3).

$$Vd = V + RsI \tag{1}$$

$$Id = Io\left(e^{\frac{qVd}{nkT}} - 1\right) \tag{2}$$

$$Id = Io\left(e^{\frac{q(V+RsI)}{nkT}} - 1\right) \tag{3}$$

The general characteristics of the PV module are given in Figure 2 with I-V and P-V graphs.

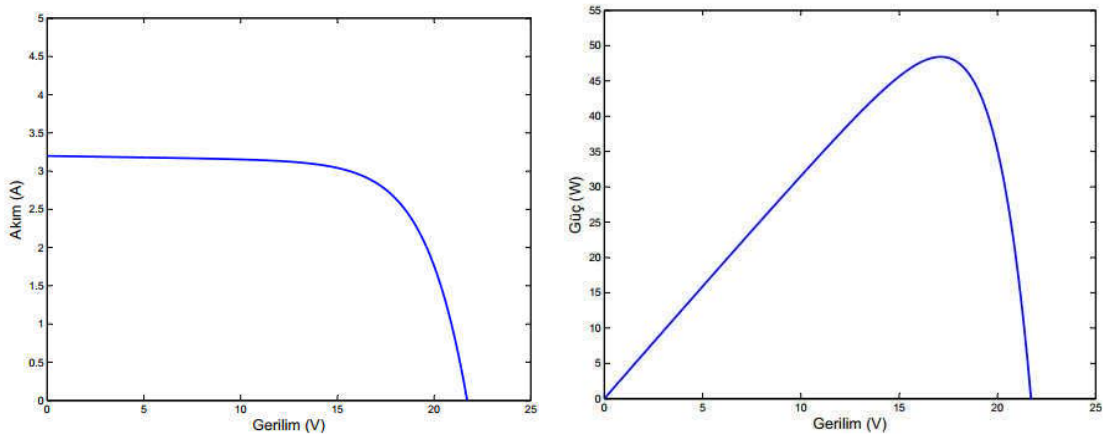


Figure 2. I-V characteristic and P-V characteristic of PV module

When the power-voltage characteristic of PV cells is examined, it is first seen that the power increases in direct proportion to the cell voltage. After the cell reaches its maximum power point, a large drop in current occurs, which reduces the output power (Imhoff et al., 2007). Figure 3.15 shows the power-voltage characteristic of the PV cell.

All technical specifications of the Trina Solar TSM-250PA05.08 model solar panel used in this study are given in Table 1.

Table 1. Trina Solar TSM-250PA05.08 PV characteristics

Features of Solar Panel	Number of Cells in Module ncell=96
Maximum Power	Pmax=249.86 W
Maximum Power Voltage	Vmp=31 V
Maximum Power Current	imp=8.06 a
Open circuit Voltage	Voc=64.9 V
Short circuit Current	Isc=8.55 A
Open Circuit Voltage Temperature Coefficient	Kv= -0.35 %/deg. C
Short Circuit Current Temperature Coefficient	Kv= -0.06 %/deg. C

Figure 3 presents I-V characteristic curves and P-V characteristic curves at different temperature values (0°C, 25°C, 50°C, 75°C, 100°C) of the solar panel whose properties are given.

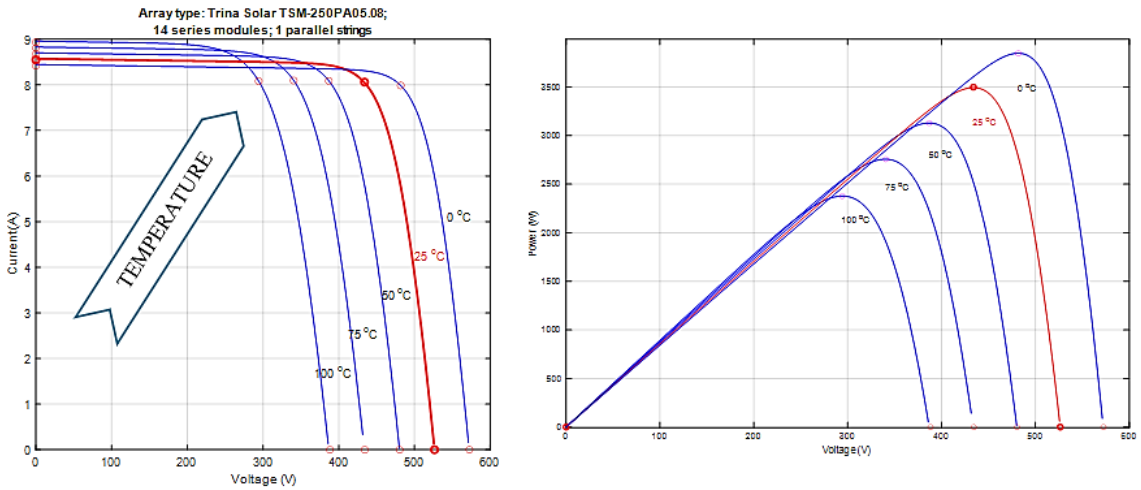


Figure 3. I-V and P-V characteristic curve of Trina Solar TSM-250PA05.08 panel at different temperature values

Increasing the light intensity falling on the PV panel will increase the panel output current. If the increase in light intensity and the increase in temperature are compared, it is seen that the effect of the increase in light intensity on the current is higher. Since the increase in light

intensity increases both current and voltage, the panel output power also increases. The I-V and P-V characteristics of the PV module under constant temperature (25°C) and varying radiation level (200 W/m2, 400 W/m2, 600 W/m2, 800 W/m2, 1000 W/m2) are given in Figure 4.

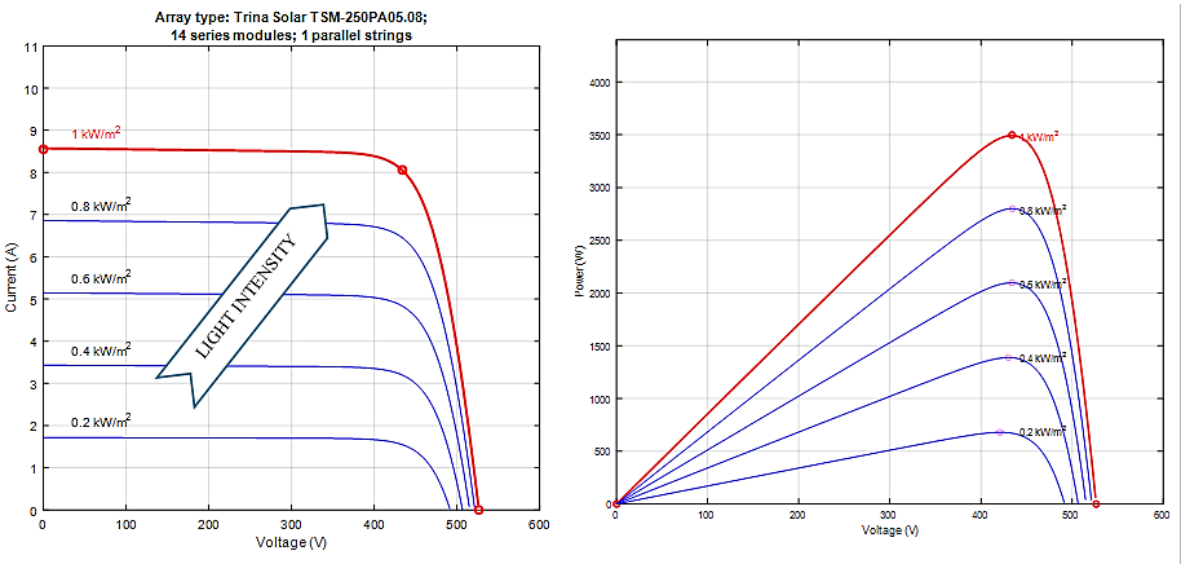


Figure 4. Trina Solar TSM-250PA05.08 panel I-V and P-V curve with different irradiance values

Modeling of a three-phase grid-tied solar energy system

In the three-phase grid-connected solar energy simulation study created in MATLAB, the SunPower SPR-327NE-WHT-D model was used as the solar panel and the total power of 100 series, 50 parallel-connected photovoltaic panels was obtained as approximately 35.25 kW. It was applied for different temperature radiation values obtained during the day. A 3-level IGBT bridge with PWM control is selected in the model. A 1600 kVA 33.5/400 V transformer was used to connect the inverter to the grid. The system is controlled by Maximum Power Point Tracking (MPPT). In MPPT, the 'Perturb and Obserb' technique was used. The photovoltaic system is connected in parallel with the grid and the active power on the current load and the reactive powers drawn from the grid are read.

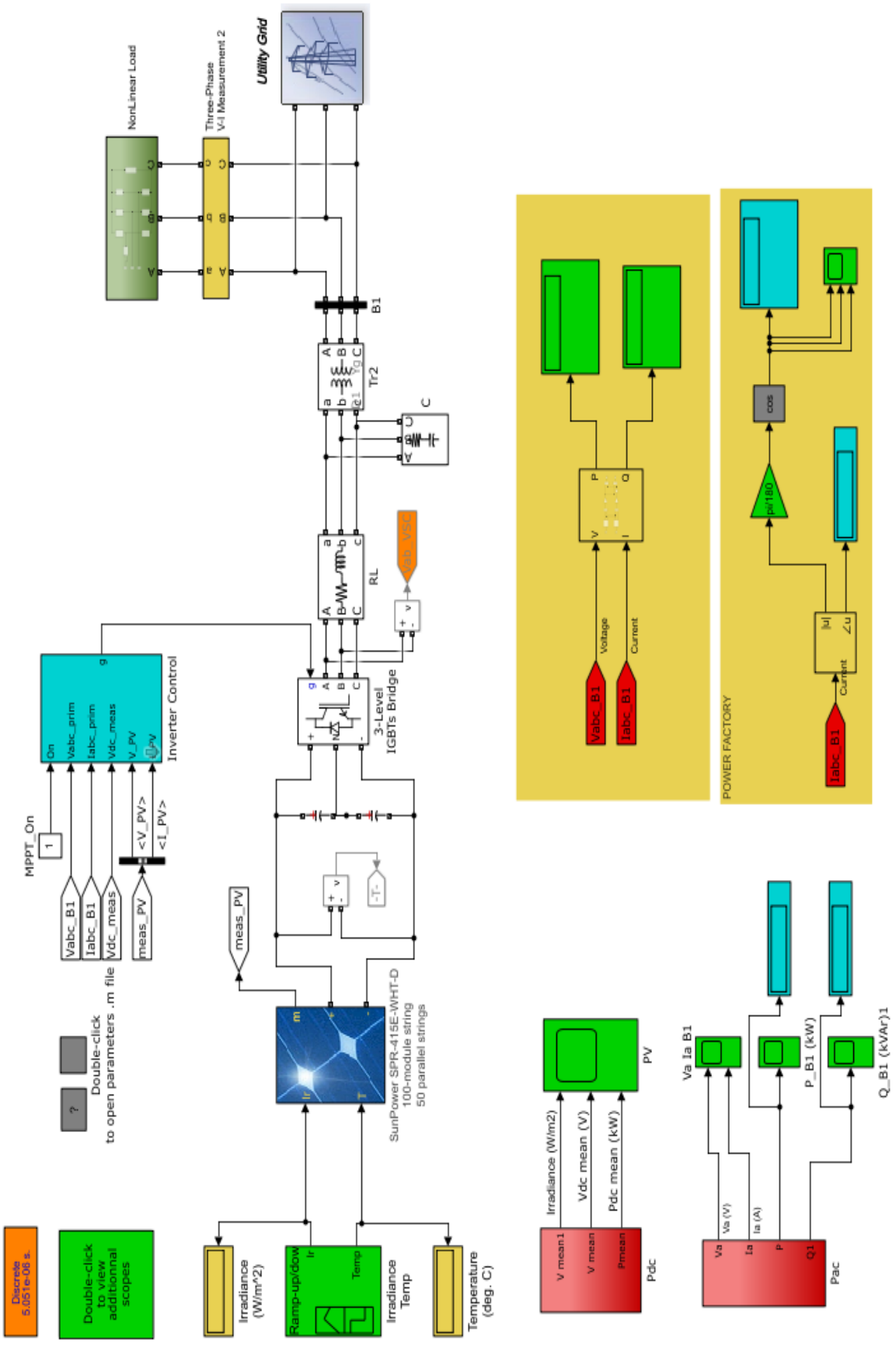


Figure 5. MATLAB/Simulink-SimPower Systems of Three-phase Grid-Connected System

RESEARCH FINDINGS AND DISCUSSION

Developments in electrical energy systems have brought many problems. In order for the analysis of these problems to be done correctly, power system analyzes must be done correctly. PV generation can provide active power to the system, but the ability to control reactive power will significantly affect voltage stability. That's why reactive power and voltage control has become an important point recently. In this study, MATLAB simulation of the solar power plant was made and how the power factor changes in the face of different scenarios, THD, voltage stability parameters were examined. In addition, comments were made about the PSS@SINCAL and PSS@NETOMAC power analysis programs and the status of the facility. The effects of distributed generation source on voltage profile, losses and line or transformer loads were investigated. Production has been constantly variable in the circuit (cosφ).

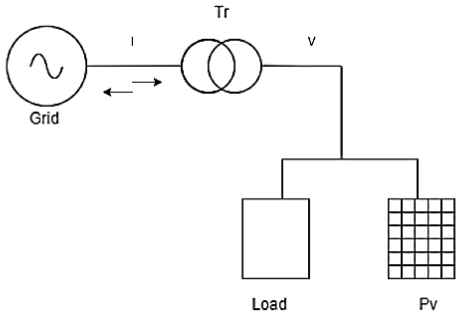


Figure 6. PSS@SINCAL PV benzetimi

For the grid-connected system, different scenarios were produced with the loads in the region and the load profiles were examined with graphs. The scenarios produced are given below.

- ✓ In the case where it is assumed that production and consumption take place at full capacity,
- ✓ In the case where production and consumption are at half capacity,
- ✓ In the case where production is at full capacity and consumption is at half capacity,
- ✓ In the case where consumption is at full capacity and production is at half capacity,
- ✓ In cases where there is no production at all and consumption is at full capacity,
- ✓ It is determined in such a way that there is no consumption at all, but production is at full capacity.

The Situation Where Production and Consumption Are Realized at Full Capacity

According to the analysis, it was thought that the solar power plants produced in the summer months and the system was operated at full capacity. It is thought that the consumptions are fully met by the transformer capacity. When the PSS@SINCAL program is run, as shown in Figure 7, the energy produced in the area where the generation plants on the right side of the substation are concentrated is more than the energy consumed, causing the load on the lines at the power plant outlets to be high. As a result of this situation, there is an overall load with an installed capacity of 18.2 MW and an installed capacity of 7.02 MW. When the PSS@SINCAL program was run with a time-dependent load flow, the voltage increased up to 1.045 p.u., and a voltage increase of 4.5% was observed. In the PV2 part, it decreased to 0.915 p.u. and a voltage drop of approximately 8.5% was observed.

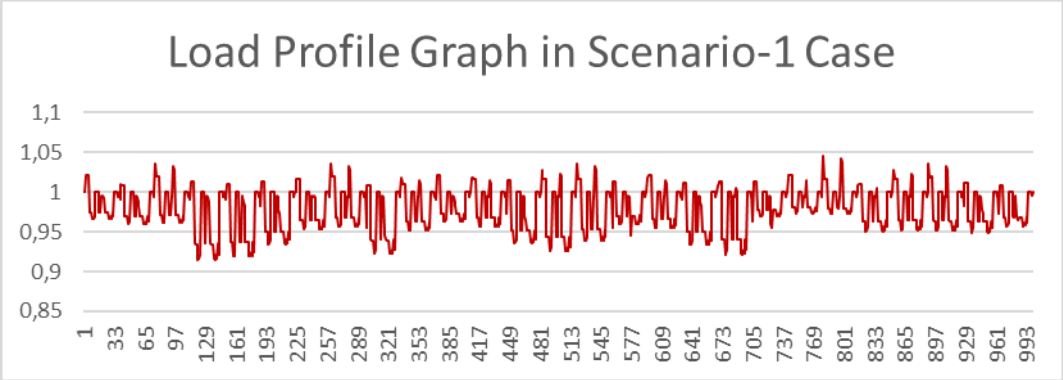


Figure 7. Load profile graph in the case of scenario-1

The Situation in which Production and Consumption Occur at Half Capacity

In this analysis; Considering that solar power plants produce at a time that coincides with the middle of the day outside the middle of the day in the summer months or on a day other than the summer months, it is assumed that they operate at half capacity and the consumption is realized with half of the existing transformer capacity. When the load flow is operated with the PSS@SINCAL program, as can be seen in Figure 8, although the energy produced by the generation plants on the selected feeder is more than the energy consumed here, the production capacity has been halved, which has ensured that the load on the lines at the power plant outlets is not high. As a result of this situation, there is an overall load with an installed capacity of 9.1 MW and an installed capacity of 3.51 MW. When the PSS@SINCAL program was run with a time-dependent load flow, the voltage increased up to 1,035 p.u., and a voltage increase of 3.5% was observed. In the PV2 part, it decreased to 0.9619 p.u. and a voltage drop of approximately 3% was observed.

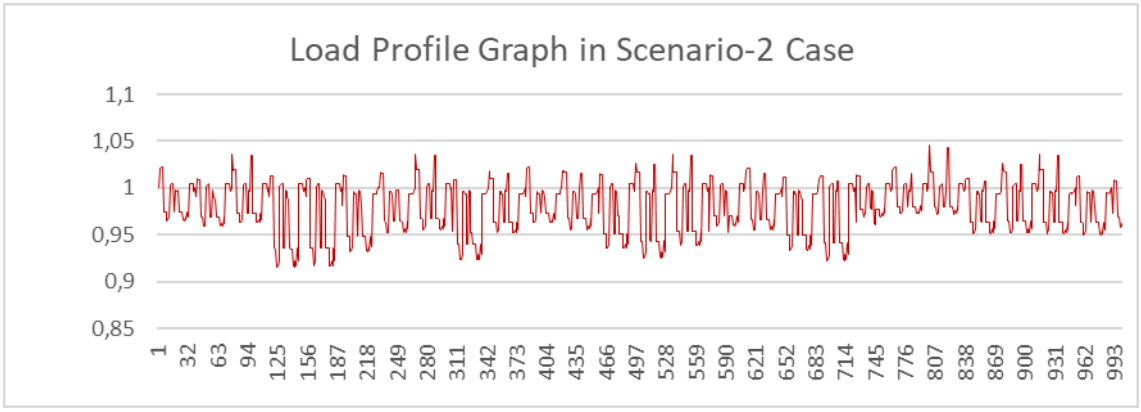


Figure 8. Load profile graph in the case of scenario-2

A situation where production takes place at full capacity and consumption at half capacity

In this analysis; Considering that solar power plants produce at a time that coincides with the summer months and the middle of the day, it is assumed that they operate at full capacity and that the consumption is realized with half of the existing transformer capacity. When the load flow is operated with the PSS@SINCAL program, as can be seen from Figure 9, the energy produced by the generation plants on the selected feeder is more than the energy consumed here, and the energy consumed has decreased by half, causing the loading on the lines at the power plant outlets to be even higher. As a result of this situation, there is an overall load with an installed capacity of 3.51 MW with an installed capacity of 18.2 MW. When the PSS@SINCAL program was run with a time-dependent load flow, the voltage increased up to 1.045 p.u., and a voltage increase of 4.5% was observed. In the PV2 part, it decreased to 0.945 p.u. and a voltage drop of approximately 5.5% was observed.

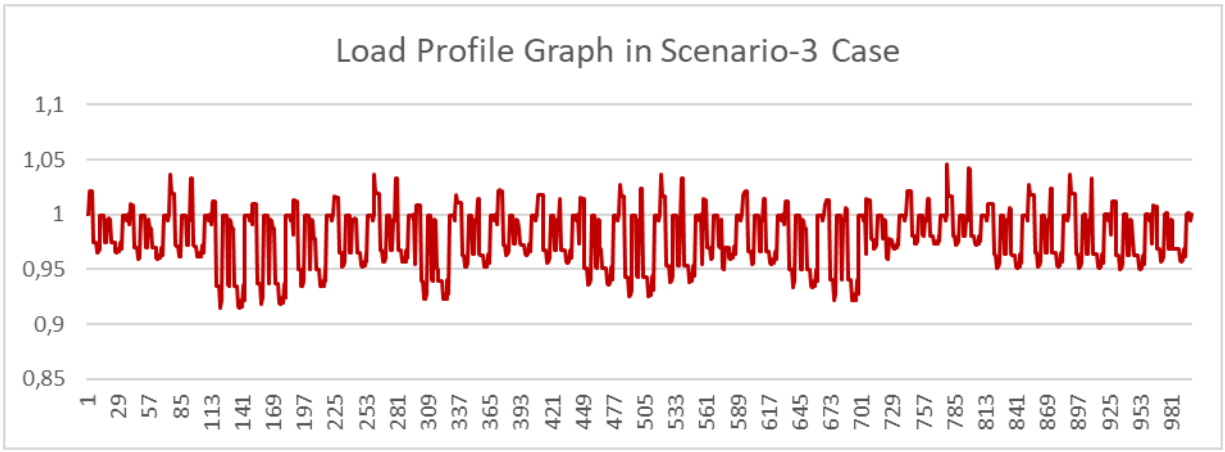


Figure 9. Load profile graph in case of scenario-3

A situation where consumption takes place at full capacity and production at half capacity

In this analysis; Considering that solar power plants produce at a time that coincides with the middle of the day outside the middle of the day in the summer months or on a day other than

the summer months, it is assumed that they operate at half capacity, and the consumption is realized in full of the existing transformer capacity. When the load flow was operated with the PSS@SINCAL program, as can be seen from Figure 10, although the capacity of the generation plant on the selected feeder was currently more than the energy consumed here, the capacity was reduced by half, resulting in less loading on the lines at the power plant outlets. As a result of this situation, there is an overall load with an installed capacity of 7.02 MW with an installed capacity of 9.1 MW. When the PSS@SINCAL program was run with a time-dependent load flow, the voltage increased up to 1,035 p.u., and a voltage increase of 3% was observed. In the system, it decreased to 0.90 p.u. and a voltage drop of approximately 10% was observed.

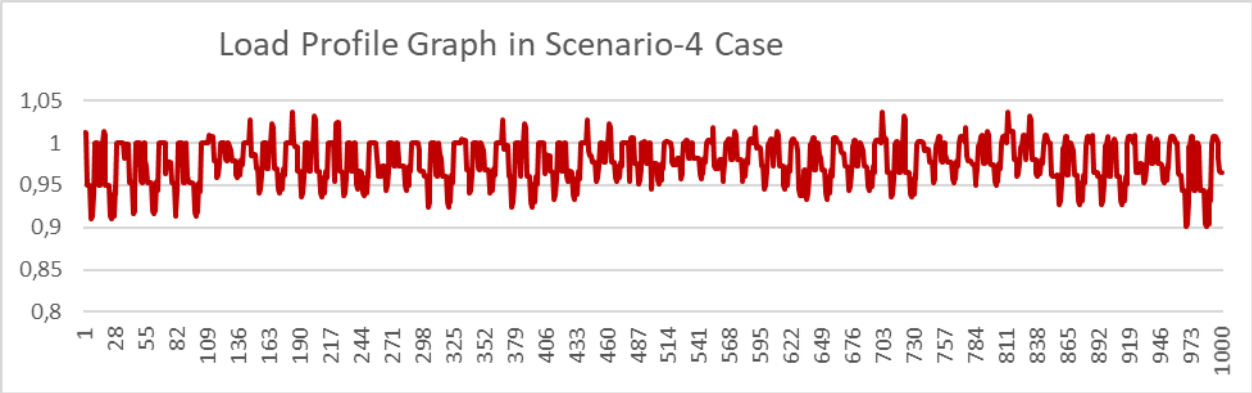


Figure 10. Load profile graph in the case of scenario-4

A situation where there is no production at all and consumption is at full capacity

In this scenario; It is assumed that the solar power plants are out of operation and the consumptions are fully realized of the existing transformer capacity. When the load flow was started with the PSS@SINCAL program, as can be seen from Figure 11, there was no line loading because there was no generation plant on the selected feeder and the consumption continued at full capacity, on the contrary, a voltage drop was observed in the later parts of the line.

As a result of this situation, there is an overall load with an installed capacity of 7.02 MW. When the PSS@SINCAL program is run with a time-dependent load flow, the voltage is reduced to 0.939 p.u. along the selected feeder, as can be seen from Figure 12, resulting in a voltage drop of approximately 6.1%.

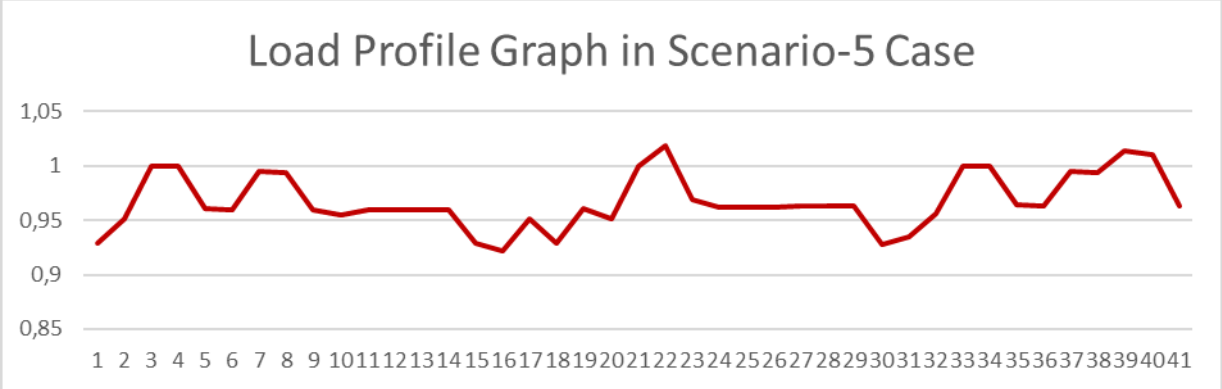


Figure 11. Load profile graph in the case of scenario-5

A situation where there is no consumption at all, but production is realized at full capacity

In the scenario where there is no consumption at all and production is realized at full capacity; Considering that solar power plants produce at a time that coincides with the summer months and the middle of the day, it is thought that they operate at full capacity, while there is no consumption in the region. When the load flow is operated with the PSS@SINCAL program, there is an installed capacity of 18.2 MW in the system. When the PSS@SINCAL program is run with a time-dependent load flow, the voltage is 1.04 p.u. along the selected feeder, as can be seen from Figure 12, and a voltage rise of approximately 4% was observed.

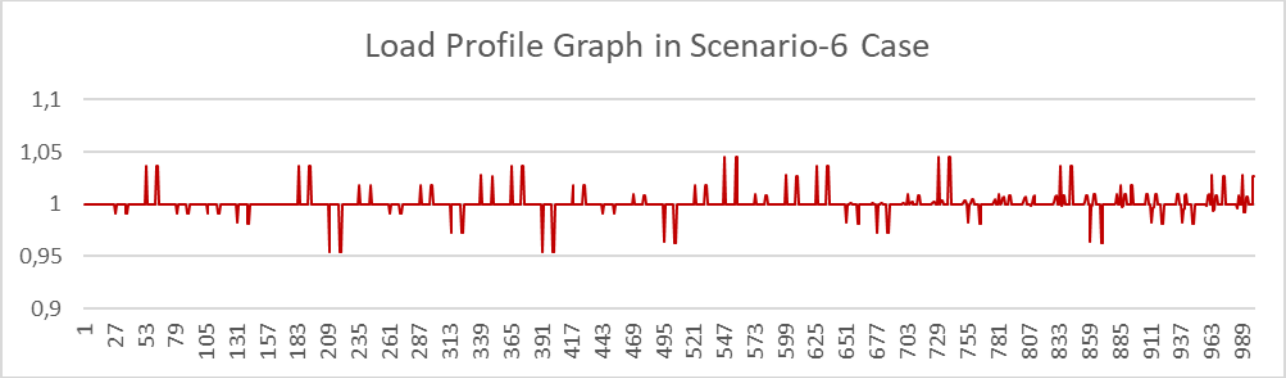


Figure 12. Load profile graph in case of scenario-6

RESULT

In this study, reactive power control simulation study was carried out in grid-connected solar energy systems. In addition, the inductive reactive power generated in the system was suppressed by the capacitive reactive power produced by the photovoltaic system modeled in MATLAB and the power power factor of the system was determined.

In this way, the capacitive reactive power required by the network and existing loads will be met by solar panels. This will pave the way for the reduction of existing compensation costs, the reduction of voltage drop and the elimination of harmonics.

Depending on how much inductive reactive energy is generated in the installed systems, compensation can be provided by integrating the capacitive reactive powers produced by selecting solar panels into the system. In addition, the establishment of a compensation system can be prevented.

To ensure voltage stability, to ensure that power systems are operated within safe and stable limits, and to ensure that electrical energy supply is carried out in a quality, uninterrupted and adequate manner, it is very important to examine the power systems in terms of loadability, supply-demand balance, power flow and stability during both the planning and operation phases, to make the analyzes correctly and to take the necessary precautions.

In this study, in which the voltage regulation problems that will occur with the operation of solar power plants are discussed, load flow analysis, which is the network analysis program of many solar power plants connected to the grid, was carried out with PSS@SINCAL and MATLAB. According to the results obtained, voltage stability was determined and load flow profiles in different scenarios were evaluated. Table 2 shows the voltage characteristics of the equipment on the feeder.

Table 2. Measurement data of equipment on the feeder

Scenarios	Production and load status of the system	Voltage drop	Voltage Rise
In the case where production and consumption are assumed to take place at full capacity	18.2 MW installed capacity Overall load with an installed capacity of 7.02 MW	%8,5	%4,5
In the case where production and consumption are at half capacity	9.1 MW installed capacity Overall load with an installed capacity of 3.51 MW	%3	%3,5
In the case where production is at full capacity and consumption is at half capacity	18.2 MW installed capacity Overall load with an installed capacity of 3.51 MW	%5,5	%4,5
In the case where consumption is at full capacity and production is at half capacity	9.1 MW installed capacity Overall load with an installed capacity of 7.02 MW	%10	%3
In the case where there is no production at all and consumption is at full capacity	Overall load with an installed capacity of 7.02 MW	%6,1	-
In the case where there is no consumption at all, but production is at full capacity	18.2 MW installed capacity	-	%4

RESOURCES

Chouder, A., Silvestre, S., Sadaoui, N., Rahmani, L. 2012. "Modeling and simulation of a grid connected PV system based on the evaluation of main PV module parameters Simulation Modelling Practice and Theory Modeling and simulation of a grid connected PV system based on the evaluation of main PV module parameters". Simulation Modelling Practice and Theory, *20*(1), 46–58.

Fateh, A., Nor, M., Sulaiman, M., Fazliana, A., Kadir, A., Omar, R. 2016. "Voltage Instability Analysis for Electrical Power System Using Voltage Stabilty Margin and Modal Analysis Voltage Instability Analysis for Electrical Power System Using Voltage Stabilty Margin and Modal Analysis", (September), 655–662.

Imhoff, T. J., Rodrigues, G. F., Pinheiro, J. R., Hey, H. L., Roraima, A., Maria, S. 2007. "A Stand-Alone Photovoltaic System Based on Dc-Dc Converters in a Multi- String Configuration Keywords Centralized stand-alone photovoltaic system". European Conference on Power Electronics and Applications, 1–10.

Lorenzo, E. 1994. "Solar Electricity Engineering of Photovoltaic Systems".

Sinvula, R., Abo-Al-Ez, K. M., Kahn, M. T. 2019. "Total harmonics distortion (THD) with PV system integration in smart grids: Case study". Proceedings of the 27th International Conference on the Domestic Use of Energy, DUE 2019, 102–108.

Sundar, K. S. 2018. "PHOTOVOLTAIC SOLAR SYSTEM FOR ACTIVE POWER GENERATION AND REACTIVE POWER", *5*(7).

Tan, Y. T., Kirschen, D. S., Jenkins, N. 2004. "A model of PV generation suitable for stability analysis". IEEE Transactions on Energy Conversion, *19*(4), 748–755.

ENHANCING ONLINE SAFETY: TOXIC COMMENT CLASSIFICATION USING NATURAL LANGUAGE PROCESSING AND DEEP LEARNING

Yavuz YEŞİL*
Master of Science Candidate, Duzce University, Institute of Graduate Studies, Department of Computer Engineering
ORCID ID: 0009-0004-8371-7003

Abdullah Talha KABAKUŞ
Assoc. Prof. Dr., Duzce University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering
ORCID ID: 0000-0003-2181-4292

ABSTRACT

Toxic comments on online forums, blogs, and social media platforms can have a negative impact on end users. This negative impact varies from depression to suicide. Therefore, detecting toxic comments has become crucial for public well-being and social media moderation. In this study, machine learning models, deep learning models, and transformer models were proposed alongside natural language processing techniques to classify comments into two: (i) toxic, and (ii) non-toxic. The proposed models were aimed to achieve high performance in detecting toxic comments. To train and evaluate the proposed models, we used two publicly available gold standard datasets, namely, (i) *Toxic Comment Classification Challenge* (*TCCC*), and (ii) *Wikipedia Talk Labels: Toxicity* (*WTLT*). Both datasets were split into three subsets, namely, (i) training set, (ii) validation set, and (iii) test set. Since these datasets are imbalanced, dataset balancing techniques were employed to ensure fair representation of covered comment classes. The word embeddings for the textual data in the datasets used were obtained using the word embedding techniques, namely, *GLoVe* and *fastText*. These word embeddings were used to train the proposed models. The trained models were evaluated on the same test sets to obtain a fair comparison. The de facto standard evaluation metrics, namely, accuracy, precision, recall, and F1-score, were employed to evaluate the classification performance of the proposed models. According to the experimental results, the proposed transformer model obtained an accuracy of 93%, a precision of 93.2%, a recall of 93%, and an F1-score of 93%, outperforming the other proposed models. This study demonstrates the high efficiency of transformer models in detecting toxic comments.

Keywords: toxic comment, comment classification, transformers, deep learning, natural language processing.

INTRODUCTION

Natural Language Processing (NLP) is a branch of Artificial Intelligence (AI) that is full of complex and challenging tasks related to human language. Thanks to advances in Deep Learning (DL), the performance of NLP applications has increased dramatically. The use of DL models facilitates effective training on large-scale datasets, allowing the models to capture complex patterns within the data. In contrast to traditional Machine Learning (ML) approaches, DL models eliminate the need for task-specific feature engineering by automatically learning relevant features from raw data [1]. DL has led to significant advancements in various NLP tasks, including but not limited to, sentence classification, sentiment analysis, text classification, and text summarization [2][3][4][5][6]. A toxic comment is one that includes mocking, rude, disturbing, insulting, or hateful language. Beyond being offensive, toxic comments are often used as a form of cyberbullying. With the rapid rise of social media platforms in recent years, toxic comments have emerged as a growing and serious concern. According to a recent survey, approximately 75% of all online abuse originates from social media platforms [7]. Toxic comments not only discourage individuals from engaging in social interactions but can also lead to severe consequences such as self-harm, aggressive behavior toward others, and even suicide. Research indicates that 41% of individuals who experience cyberbullying suffer from social anxiety, 37% from depression, and 26% report having suicidal thoughts [8]. In the past, word filters and manual reviews were commonly used to prevent toxic comments. However, these methods proved inadequate due to their simplicity, vulnerability to manipulation, and time-consuming nature. Consequently, governments, companies, and researchers have increasingly turned to AI models to detect and mitigate toxic comments. In this study, we leverage state-of-the-art NLP and AI techniques to identify toxic comments on online platforms, with the ultimate goal of promoting user well-being and fostering a safer internet environment.

Rupapara et al. [9] proposed an approach that employs a regression vector voting classifier to identify toxic comments. They used a balanced dataset to train their ML model. According to the experimental results, their model achieved an accuracy of %97. *Krešňáková et al.* [10] employed various DL models to identify toxic comments. Their aim was to analyze the impact of preprocessing techniques and text representation methods on model performance. The experiments were conducted using the *Kaggle Toxic Comment Classification Challenge* dataset, and their best-performing model achieved an accuracy of 97.25% on the test set. *Jayaraman et al.* [11] proposed a multichannel convolutional bidirectional gated recurrent unit (MCBiGRU) model with pre-trained word embeddings to detect toxic comments in a multilabel classification setting. Their model achieved an impressive accuracy of 99.1% on the test dataset. *Leite et al.* [12] proposed a new dataset composed of tweets for toxic comment detection. They utilized BERT models and achieved a macro-F1 score of 76%. *Singh et al.* [13] introduced a three-tier CNN architecture, employing the *Google Jigsaw*

dataset with 300-dimensional fastText word embeddings. Their model achieved an accuracy of 98.505%. *Park* and *Lee* [14] used comments from entertainment news articles to detect toxic language, applying various ML algorithms, including Decision Tree, Random Forest, Support Vector Machine, and k-Nearest Neighbors. Among these, the random forest model yielded the best performance, achieving an F1-score of 94%. *Neog* and *Baruah* [15] proposed a hybrid model combining BiLSTM and CNN architectures for toxic comment detection. They manually collected data from public domains and compared the performance of two activation functions: (i) *softmax* and (ii) *sigmoid*. The model using the *softmax* activation function outperformed the other, achieving an accuracy of 90.51%. *Nabiilah et al.* [16] employed various pre-trained models—Multilingual BERT (MBERT), IndoBERT, and IndoRoberta Small—to detect toxic comments. Among them, IndoBERT achieved the best performance, with an F1-score of 88.97%.

RESEARCH AND FINDINGS

In the following subsections, we provide a detailed description of the datasets used in this study, the data preprocessing techniques employed, the software stack utilized, the baseline models covered, the proposed transformer-based classifier, and a discussion of the experimental results.

Dataset Description and Employed Preprocessing

This study utilizes two datasets: (i) the Toxic Comment Classification Challenge (TCCC) [17] and (ii) Wikipedia Talk Labels: Toxicity (WTLT) [18]. The TCCC dataset was obtained from *Kaggle*. For preprocessing, columns other than *comment_text* and *toxic* were removed. The provided test set consists of two subsets, which were merged by their respective IDs. Some rows in the test set had a toxic value of -1, and these rows were discarded. To ensure a more balanced evaluation, the dataset was balanced using the downsampling method. The final TCCC dataset includes 42,768 comments per class, namely, (1) *toxic* and (2) *non-toxic*. The WTLT dataset was obtained from *Figshare* and consists of three subsets. One of these subsets was excluded from the study, as it was not useful for training. Before merging the remaining two subsets, comments with differing toxicity values were identified and the values were averaged. These averaged values were then binarized using a threshold of 0.5. The subsets were merged based on the *rev_id* field. Fields other than comment, toxic, and split were removed. The dataset was then divided into three subsets—*training*, *validation*, and *test* sets—according to the split field, and the split field was subsequently discarded. For improved evaluation, the dataset was balanced using the downsampling method. The final WTLT dataset contains 36,794 comments per class, namely, (1) *toxic* and (2) *non-toxic*.

We employed word embedding techniques to generate embeddings for the textual data, using GloVe (Global Vectors for Word Representation) [19] and fastText [20]. For both methods, we utilized a 100-dimensional word embedding model. fastText, developed by Facebook,

represents words by breaking them down into character n-grams, while GloVe, developed by Stanford University, generates word vectors by analyzing statistical relationships between words. Sample comments from both datasets are provided in Tables 1 and 2, and the distribution of comments per class in each dataset is shown in Fig. 1.

Table 1. Some sample comments from the *Toxic Comment Classification Challenge* (*TCCC*) dataset.

Comment	**Class**
I'm so glad I have your approval. 07:25, 24 Feb 2004 (UTC)	*non-toxic*
Dude, this page is harsh to the eyes. It's too segmented, so try merging and omitting some irrelevant information.	*non-toxic*
Would you both shut up, you don't run wikipedia, especially a stupid kid.	*toxic*
You sir are an imbecile, and a pervert.	*toxic*

Table 2. Some sample comments from the *Wikipedia Talk Labels: Toxicity* (*WTLT*) dataset.

Comment	**Class**
NEWLINE_TOKENNEWLINE_TOKENNEWLINE_TOKENFantastic. The best way to improve ANY page on this site, IMO is for you to avoid them. THANKS!	*non-toxic*
NEWLINE_TOKEN::ok, this is not a forum	*non-toxic*
NEWLINE_TOKENNEWLINE_TOKENbastards, i said nothing about changing it! that was not a complaint!	*toxic*
NEWLINE_TOKENNEWLINE_TOKENNo one is vandalizing assholes, so get it straight!!!	*toxic*

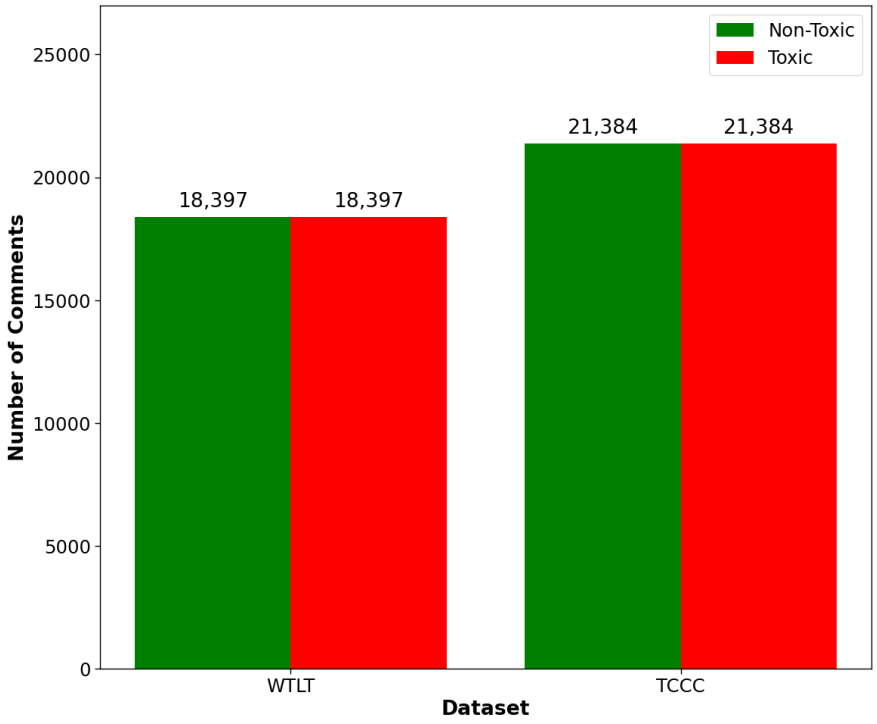


Figure 1. Distribution of comments per class in the datasets used in this study.

Software Stack

We utilized the Python programming language within the Kaggle notebook environment for the experiments conducted in this study. Kaggle notebooks come with various built-in data science Python packages. The following Python packages were utilized in this study: *TensorFlow* [21] and *Keras* [22] for designing, training, and evaluating the DL models; *Pandas* [23] for data manipulation and preprocessing; *scikit-learn* [24] for computing classification metrics, statistical analysis, and implementation of traditional ML algorithms; *NumPy* [25] for numerical computations and array operations, and *Matplotlib* [26] for visualization. Finally, *Hugging Face* [27] was employed for the implementation of the Transformer models.

Baseline Models

We covered both ML and DL models as the baselines of the proposed model, which are described in the following subsections.

Employed Baseline Models Based on Machine Learning

Traditional ML models were used to establish a baseline for the DL and transformer models developed in this study. The ML models employed include Extreme Gradient Boosting (XGBoost), Logistic Regression, Stochastic Gradient Descent (SGD), Random Forest, and k-Nearest Neighbors (kNN).

Proposed Baseline Models Based on Deep Learning

DL models were employed to establish a baseline for the transformer models developed in this study. The DL models utilized include One-Dimensional Convolutional Neural Networks (1D CNN), Long Short-Term Memory (LSTM), Double LSTM, Bidirectional LSTM (BiLSTM), LSTM with Attention, LSTM with Multi-Head Attention (MH) (with configurations of 3 and 5 heads), BiLSTM with Attention, BiLSTM with MH (with configurations of 3 and 5 heads), Dense, Bi-Gated Recurrent Unit (BiGRU) with 1D CNN, and LSTM with 1D CNN.

Proposed Model Based on Transformer

Transformer models have increasingly been employed in state-of-the-art approaches for tasks that were previously handled by DL methods. Inspired by this trend, we proposed a model utilizing the *unitary/toxic-bert* [28] transformer model. Based on the experimental results from the ablation study, this model achieved the best performance when trained on the WTLT dataset. As a result, the proposed model was trained and evaluated on this dataset. An overview of the architecture of the *unitary/toxic-bert* transformer model is presented in Fig. 2. Additionally, we tested various pre-trained transformer models on both the TCCC and WTLT datasets. These models include: (i) *martin-ha/toxic-comment-model* [29], (ii) *s-nlp/roberta_toxicity_classifier* [30], (iii) *unitary/multilingual-toxic-xlm-roberta* [28], (iv) *IlyaGusev/rubertconv_toxic_clf* [31], (v) *s-nlp/russian_toxicity_classifier* [32], and (vi) *citizenlab/distilbert-base-multilingual-cased-toxicity* [33].

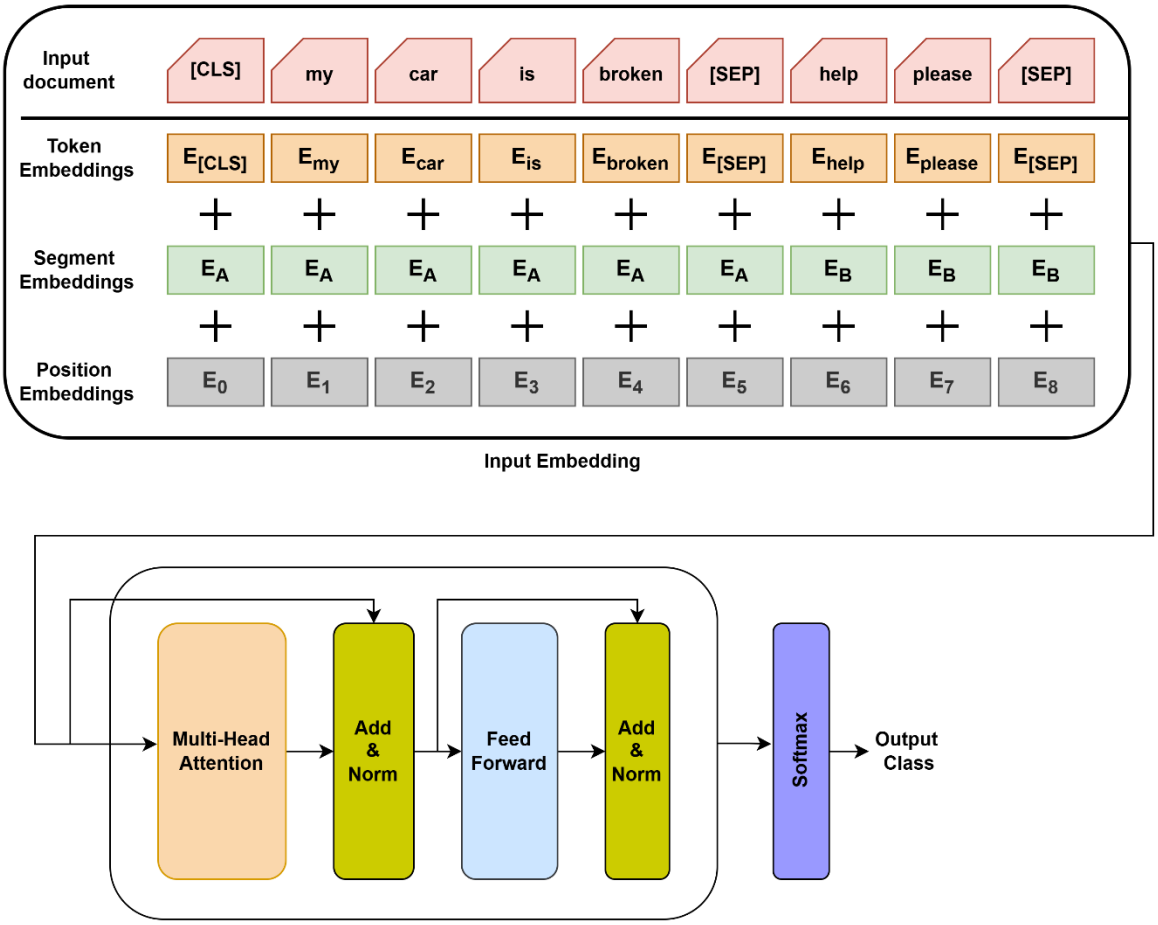


Figure 2. An overview of the architecture of the *unitary/toxic-bert* transformer model. Inspired by [34].

Experimental Results and Discussion

Transformer models were trained for three epochs, and DL models were trained using the Early Stopping callback. Each model was trained and evaluated on the two datasets described in the previous section. For each experiment, these datasets were employed as standalone to: (*i*) assess the impact of the dataset on the model's performance, and (*ii*) create a homogeneous knowledge base. The TCCC dataset providers offer predefined training and test subsets, which we used to establish a standard baseline. The TCCC training set consists of 30,588 comments, with the validation set representing 20% of the training set. The test set consists of 12,180 comments. To preserve the toxic/non-toxic ratio, the *stratify* parameter was applied when splitting the validation set from the training set. The providers have already divided the WTLT dataset into three subsets: (*i*) *training*, (*ii*) *validation*, and (*iii*) *test*. To establish a standard baseline, we used these predefined subsets. The WTLT training set consists of 22,198 comments, the validation set consists of 7,362 comments and the test set consists of 7,234 comments. The accuracy-epoch plot of the best-performing model during training is presented in Fig. 3.

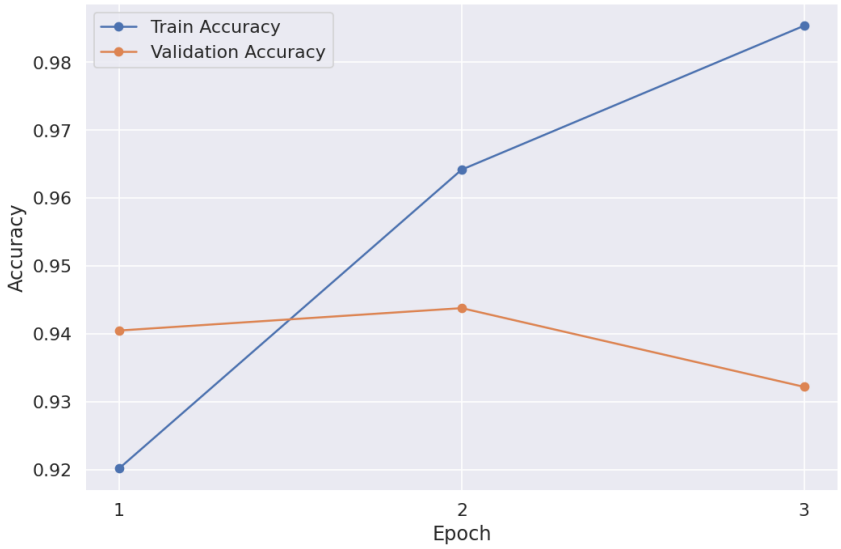


Figure 3. Accuracy-epoch plot of the best-performing model, the proposed *unitary/toxic-bert* transformer model.

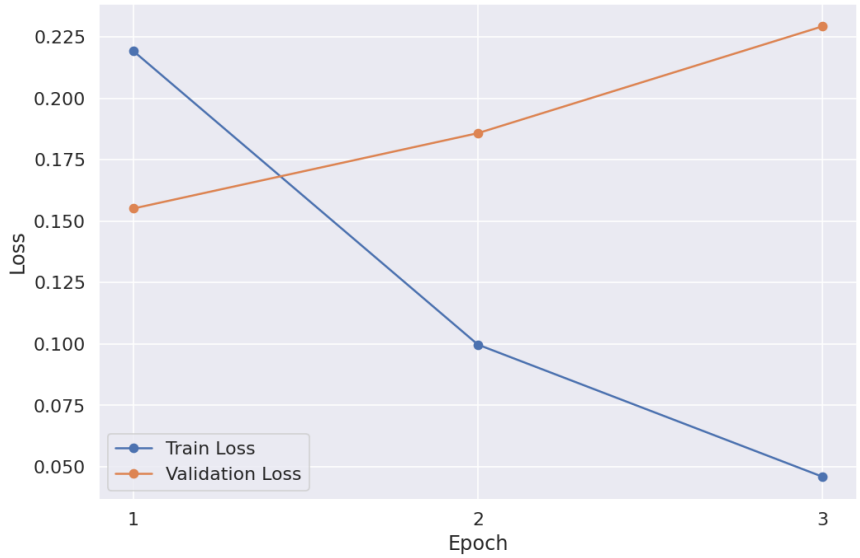


Figure 4. Loss-epoch plot of the best-performing model, the proposed *unitary/toxic-bert* transformer model.

When evaluated on the WTLT test set, the proposed *unitary/toxic-bert* transformer model achieved an accuracy of 93%, a precision of 93.2%, a recall of 93%, and an F1-score of 93%. The classification results for each class, based on the other evaluation metrics (precision, recall, and F1-score), are presented in Table 3. The confusion matrix for the evaluation of the *unitary/toxic-bert* transformer model on the WTLT test set is shown in Fig. 5.

Table 3. The evaluation results of the proposed *unitary/toxic-bert* transformer model on the WTLT test set.

Class	Precision	Recall	F1-Score	Support
non-toxic	0.903	0.964	0.932	3,617
toxic	0.961	0.896	0.928	3,617

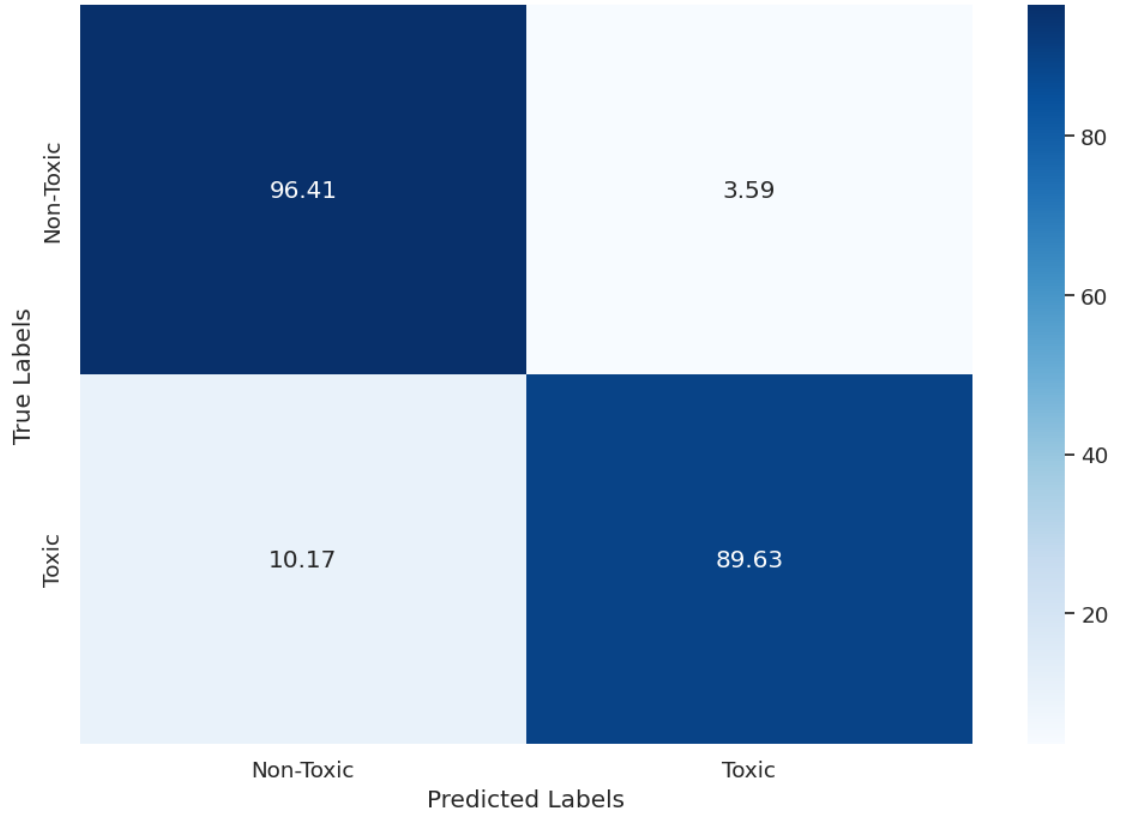


Figure 5. The confusion matrix of the evaluation of the proposed *unitary/toxic-bert* transformer model. The results are given as percentages to facilitate easier interpretation.

The experimental results show that the proposed *unitary/toxic-bert* transformer model outperformed the other baseline models, which included various ML and DL models. Among the eighty-six models evaluated, the top ten best-performing models, along with their respective word embedding techniques, used datasets, and achieved accuracies, are presented in Table 2.

Table 4. Accuracy values of the top five best-performing models on the TCCC dataset.

Model	**Word Embedding Technique**	**Accuracy**
Transformer (unitary/toxic-bert)	Transformer's Internal Embedding	0.907
Transformer (s-nlp/roberta_toxicity_classifier)	Transformer's Internal Embedding	0.901

Transformer (citizenlab/distilbert-base-multilingual-cased-toxicity)	Transformer's Internal Embedding	0.896
DL (LSTM with 1D CNN)	fastText	0.892
DL (LSTM)	fastText	0.888

Table 5. Accuracy values of the top five best-performing models on the WTLT dataset.

Model	**Word Embedding Technique**	**Accuracy**
Transformer (unitary/toxic-bert)	Transformer's Internal Embedding	0.930
Transformer (s-nlp/roberta_toxicity_classifier)	Transformer's Internal Embedding	0.926
Transformer (martin-ha/toxic-comment-model)	Transformer's Internal Embedding	0.911
Transformer (citizenlab/distilbert-base-multilingual-cased-toxicity)	Transformer's Internal Embedding	0.911
Transformer (s-nlp/russian_toxicity_classifier)	Transformer's Internal Embedding	0.906

According to the experimental results, when comparing the WTLT and TCCC datasets, it is observed that eight of the ten top-performing models use the WTLT dataset based on the accuracy metric. Given that the same dataset balancing method was applied to both datasets and the tests were conducted using the same models, we can conclude that the WTLT dataset appears to provide better training performance than the TCCC dataset, which could be attributed to its more diverse data distribution, leading to improved model generalization. Further, when comparing GloVe and fastText word embeddings in DL models, it is found that three of the five most successful models on the TCCC dataset, based on accuracy, use fastText, while the other two use GloVe. Similarly, although three of the highest-accuracy models on the WTLT dataset employ fastText, the model with the highest accuracy on the WTLT dataset uses the GloVe word embedding technique. Notably, the second model on the WTLT dataset uses fastText, but with a lower loss than the first model. The performance of fastText and GloVe word embeddings highlights the advantage of fastText's ability to capture subword information, making it more effective in certain models, although GloVe still performs well in capturing semantic word relationships. Both the first and second models with the highest accuracy on the WTLT dataset utilized the same DL architecture, BiLSTM with Multi-Head Attention (MH) with a configuration of three heads. The first model achieved 90% accuracy with a loss of 0.255, while the second model achieved 89.7% accuracy with a loss of 0.248. The fact that both the highest-performing models on the WTLT dataset used the BiLSTM with Multi-Head Attention architecture suggests that this configuration is well-suited for capturing long-term dependencies and contextual nuances in the data. When

comparing the experimental results on the TCCC and WTLT datasets using standard evaluation metrics, transformer-based models generally outperform the ML and DL models. The superior performance of transformer-based models indicates their capability to handle complex patterns in large datasets, benefiting from their self-attention mechanisms.

CONCLUSION

Toxic comment detection is crucial for fostering a healthy and safe environment on online platforms, as toxic and harmful comments can have severe negative impacts on individuals, potentially leading to depression or even suicide. With the advancement of NLP and AI, online platforms can enhance safety by automatically identifying and classifying toxic comments. In this study, a total of eighty-six models were developed for toxic comment classification, employing ML, DL, and transformer-based approaches. Two publicly available datasets, namely the TCCC and WTLT, were utilized in this study. Word embeddings were generated using various techniques, including GloVe and fastText, with a 100-dimensional embedding size selected for the textual fields in the datasets. This enabled the models to be trained, as AI models require numerical data for processing. A range of traditional ML and DL models were developed to establish baselines for the proposed model. These models included 1D CNN, LSTM, Double LSTM, LSTM with Attention, LSTM with Multi-Head Attention (configurations of 3 and 5 heads), BiLSTM, BiLSTM with Attention, BiLSTM with Multi-Head Attention (configurations of 3 and 5 heads), Dense, BiGRU with 1D CNN, and LSTM with 1D CNN. All models were trained and evaluated on the same datasets to ensure a fair comparison, and their performance was assessed using four evaluation metrics: (i) accuracy, (ii) precision, (iii) recall, and (iv) F1-score. According to the experimental results, the proposed transformer model based on *unitary/toxic-bert* outperformed the other eighty-six models. This model achieved an impressive accuracy of 93%, demonstrating its strong performance in detecting non-toxic comments.

For future work, alternative word embedding methods, such as Word2Vec, could be explored, along with higher-dimensional embeddings. Hybrid models and alternative transformer architectures could also be investigated. Additionally, combining several datasets could enrich the knowledge base and improve the model's performance. Finally, Transformer models could be further optimized by experimenting with different hyperparameters, such as the number of epochs, activation functions, and optimization algorithms, to enhance classification performance.

REFERENCES

[1] I. Lauriola, A. Lavelli, and F. Aiolli, "An introduction to deep learning in natural language processing: Models, techniques, and tools," *Neurocomputing*, vol. 470, pp. 443–456, 2022.

[2] D. Khurana, A. Koli, K. Khatter, and S. Singh, "Natural language processing: state of the art, current trends and challenges," *Multimed Tools Appl*, vol. 82, no. 3, pp. 3713–3744, 2023, doi: 10.1007/s11042-022-13428-4.

[3] R. Socher *et al.*, "Recursive Deep Models for Semantic Compositionality Over a Sentiment Treebank," in *Proceedings of the 2013 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing*, D. Yarowsky, T. Baldwin, A. Korhonen, K. Livescu, and S. Bethard, Eds., Seattle, Washington, USA: Association for Computational Linguistics, Oct. 2013, pp. 1631–1642.

[4] K. L. Tan, C. P. Lee, K. S. M. Anbananthen, and K. M. Lim, "RoBERTa-LSTM: A Hybrid Model for Sentiment Analysis With Transformer and Recurrent Neural Network," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 21517–21525, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3152828.

[5] P. M. Lavanya and E. Sasikala, "Deep Learning Techniques on Text Classification Using Natural Language Processing (NLP) In Social Healthcare Network: A Comprehensive Survey," in *2021 3rd International Conference on Signal Processing and Communication (ICPSC)*, 2021, pp. 603–609. doi: 10.1109/ICSPC51351.2021.9451752.

[6] N. Zade, G. Mate, K. Kishor, N. Rane, and M. Jete, "NLP Based Automated Text Summarization and Translation: A Comprehensive Analysis," in *2024 2nd International Conference on Sustainable Computing and Smart Systems (ICSCSS)*, 2024, pp. 528–531. doi: 10.1109/ICSCSS60660.2024.10624907.

[7] E. A. Vogels, "The State of Online Harassment, Pew Research Center." Accessed: Apr. 06, 2025. [Online]. Available: https://www.pewresearch.org/internet/2021/01/13/the-state-of-online-harassment/

[8] A. M. Alduailaj and A. Belghith, "Detecting Arabic cyberbullying tweets using machine learning," *Mach Learn Knowl Extr*, vol. 5, no. 1, pp. 29–42, 2023.

[9] V. Rupapara, F. Rustam, H. F. Shahzad, A. Mehmood, I. Ashraf, and G. S. Choi, "Impact of SMOTE on imbalanced text features for toxic comments classification using RVVC model," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 78621–78634, 2021.

[10] V. Maslej-Krešňáková, M. Sarnovský, P. Butka, and K. Machová, "Comparison of deep learning models and various text pre-processing techniques for the toxic comments classification," *Applied Sciences*, vol. 10, no. 23, p. 8631, 2020.

[11] A. K. Jayaraman, A. Murugappan, T. Trueman, and E. Cambria, "Comment Toxicity Detection via a Multichannel Convolutional Bidirectional Gated Recurrent Unit," *Neurocomputing*, vol. 441, 2021, doi: 10.1016/j.neucom.2021.02.023.

[12] J. A. Leite, D. Silva, K. Bontcheva, and C. Scarton, "Toxic Language Detection in Social Media for Brazilian Portuguese: New Dataset and Multilingual Analysis," in *Proceedings of the 1st Conference of the Asia-Pacific Chapter of the Association for Computational Linguistics and the 10th International Joint Conference on Natural Language Processing*, K.-F. Wong, K. Knight, and H. Wu, Eds., Suzhou, China: Association for Computational Linguistics, Dec. 2020, pp. 914–924. doi: 10.18653/v1/2020.aacl-main.91.

[13] I. Singh, G. Goyal, and A. Chandel, "AlexNet architecture based convolutional neural network for toxic comments classification," *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*, vol. 34, no. 9, pp. 7547–7558, 2022.

[14] S. Park and K. Lee, "Tackling Faceless Killers: Toxic Comment Detection to Maintain a Healthy Internet Environment," *Computers, Materials and Continua*, vol. 76, no. 1, pp. 813–826, 2023, doi: https://doi.org/10.32604/cmc.2023.035313.

[15] M. Neog and N. Baruah, "A hybrid deep learning approach for Assamese toxic comment detection in social media," *Procedia Comput Sci*, vol. 235, pp. 2297–2306, 2024, doi: https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.04.218.

[16] G. Z. Nabiilah, S. Y. Prasetyo, Z. N. Izdihar, and A. S. Girsang, "BERT base model for toxic comment analysis on Indonesian social media," *Procedia Comput Sci*, vol. 216, pp. 714–721, 2023, doi: https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.12.188.

[17] cjadams *et al.*, "Toxic Comment Classification Challenge," 2017. Accessed: Apr. 06, 2025. [Online]. Available: https://kaggle.com/competitions/jigsaw-toxic-comment-classification-challenge

[18] N. Thain, L. Dixon, and E. Wulczyn, "Wikipedia Talk Labels: Toxicity," 2017. doi: 10.6084/m9.figshare.4563973.v2.

[19] J. Pennington, R. Socher, and C. D. Manning, "GloVe: Global Vectors for Word Representation," in *Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP)*, 2014, pp. 1532–1543.

[20] A. Joulin, E. Grave, P. Bojanowski, and T. Mikolov, "Bag of Tricks for Efficient Text Classification," in *Proceedings of the 15th Conference of the European Chapter of the Association for Computational Linguistics: Volume 2, Short Papers*, M. Lapata, P. Blunsom, and A. Koller, Eds., Valencia, Spain: Association for Computational Linguistics, 2017, pp. 427–431.

[21] M. Abadi *et al.*, "TensorFlow: a system for large-scale machine learning," in *Proceedings of the 12th USENIX Conference on Operating Systems Design and Implementation*, in OSDI'16. Savannah, GA, USA: USENIX Association, 2016, pp. 265–283.

[22] F. Chollet, *Deep Learning with Python*, 1st ed. USA: Manning Publications Co., 2017.

[23] W. McKinney and others, "Data structures for statistical computing in Python.," *SciPy*, vol. 445, no. 1, pp. 51–56, 2010.

[24] F. Pedregosa *et al.*, "Scikit-learn: Machine Learning in Python," *Journal of Machine Learning Research*, vol. 12, pp. 2825–2830, 2011.

[25] C. R. Harris *et al.*, "Array programming with NumPy," *Nature*, vol. 585, no. 7825, pp. 357–362, Sep. 2020, doi: 10.1038/s41586-020-2649-2.

[26] J. D. Hunter, "Matplotlib: A 2D graphics environment," *Comput Sci Eng*, vol. 9, no. 3, pp. 90–95, 2007, doi: 10.1109/MCSE.2007.55.

[27] Hugging Face, "Hugging Face – The AI community building the future," 2025. Accessed: Apr. 06, 2025. [Online]. Available: https://huggingface.co

[28] L. Hanu and Unitary team, "Detoxify," 2020. Accessed: Apr. 06, 2025. [Online]. Available: https://github.com/unitaryai/detoxify

[29] Hugging Face, "martin-ha/toxic-comment-model · Hugging Face," 2025. Accessed: Apr. 06, 2025. [Online]. Available: https://huggingface.co/martin-ha/toxic-comment-model

[30] V. Logacheva *et al.*, "ParaDetox: Detoxification with Parallel Data," in *Proceedings of the 60th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (Volume 1: Long Papers)*, Dublin, Ireland: Association for Computational Linguistics, 2022, pp. 6804–6818.

[31] Hugging Face, "IlyaGusev/rubertconv_toxic_clf · Hugging Face," 2025. Accessed: Apr. 06, 2025. [Online]. Available: https://huggingface.co/IlyaGusev/rubertconv_toxic_clf

[32] D. Dementieva *et al.*, "RUSSE-2022: Findings of the First Russian Detoxification Shared Task Based on Parallel Corpora," in *Computational Linguistics and Intellectual Technologies: Proceedings of the International Conference "Dialogue 2022,"* Moscow, Russia, 2022, pp. 114–131. doi: 10.28995/2075-7182-2022-21-114-131.

[33] Hugging Face, "citizenlab/distilbert-base-multilingual-cased-toxicity · Hugging Face," 2025. Accessed: Apr. 06, 2025. [Online]. Available: https://huggingface.co/citizenlab/distilbert-base-multilingual-cased-toxicity

[34] S. Khatoon *et al.*, "Development of Social Media Analytics System for Emergency Event Detection and Crisis Management," *Computers, Materials & Continua*, vol. 68, no. 3, 2021.

SYMBOLIC MUSIC GENERATION USING LATENT REPRESENTATIONS OF A VAE

Mehmet Enes KAPLAN
MSc. Student, Yıldız Technical University, Graduate School of Science and Engineering, Department of Computer Engineering
ORCID ID: 0009-0005-8862-0611

Oğuz ALTUN
Dr., Yıldız Technical University, Faculty of Electrical & Electronics, Department of Computer Engineering
ORCID ID: 0000-0001-8823-3148

ABSTRACT

In the context of music generation, combining generative AI models like Variational Autoencoders (VAEs) and Generative Adversarial Networks (GANs) with sequence modeling techniques such as Recurrent Neural Networks (RNNs) and Transformers aims to create music with coherent structures. However, sequence-to-sequence models struggle to maintain coherence in long musical compositions, often leading to disjointed sections over time. This research employs a sequence-to-sequence model functioning within the latent space of a VAE to effectively capture intricate musical structures, thereby facilitating the consistent generation of music over extended durations. Unlike conventional token-based models, which treat melodies as discrete note events, this method improves coherence by converting musical segments of certain lengths into latent space vectors. Each latent vector preserves structural relationships within individual segments and ensures internal consistency, therefore assuring that when the model produces a new vector, it does so at a higher level of abstraction. This enables the model to retain the underlying patterns and structural integrity in longer compositions, therefore reducing the potential for structural degradation over time, while allowing it to understand more complex musical structures, including phrases and motifs. This paper evaluates the efficiency of the proposed approach through the application of Long Short-Term Memory networks. Although the model is capable of adapting to various segment lengths, bars were utilized as inputs for the VAE in our experiments, resulting in the sequence-to-sequence model (LSTM) producing sequences at the bar level. The results, supported by qualitative evaluation metrics, indicate that LSTMs employing latent vectors produce more precise predictions in longer sequences, largely due to their ability to process fewer input sequences, thereby demonstrating the efficacy of this approach. This study presents a scalable, AI-driven framework for music composition that enhances creative flexibility, ensures long-term stability, and demonstrates the method's versatility and robustness.

Keywords: Generative Artificial Intelligence, Symbolic Music Generation, Latent Space, Sequence Modelling.

GÖNÜLLÜ MENTÖR VE ÖĞRENCİ EŞLEŞTİRME UYGULAMASI

VOLUNTEER MENTOR AND STUDENT MATCHING APPLICATION

Bengüsu DUMAN
Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı
Kütahya Dumlupinar University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering
ORCID ID: 0009-0001-0287-8592

Narin ULUIŞIK
Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı
Kütahya Dumlupinar University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering
ORCID ID: 0009-0004-8851-7721

Tuğçe ÖZTURAÇ
Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı
Kütahya Dumlupinar University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering
ORCID ID: 0009-0004-4671-7944

Durmuş ÖZDEMİR
Doç. Dr. Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı
Dr. Kütahya Dumlupinar University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering
ORCID ID: 0000-0002-9543-4076

ÖZET

Bu çalışma, yükseköğrenim eğitimi alan öğrencilerinin kariyer gelişimini desteklemek amacıyla geliştirilen bir mentor-öğrenci eşleştirme uygulamasının tasarım aşamalarını ve süreçlerini içermektedir. Bu yazılım sayesinde öğrencilerin mezuniyetleri sonrasında gelecek planlanması ve kariyer hedeflerini belirlemek üzere sorularını sorabilecekleri ve tavsiye alabilecekleri ilgili meslek alanında uzman bireylere danışabilme ortamı sağlayacak bir platform sunulması hedeflenmiştir. Ülkemizde özellikle pandemi sonrası yaşanılan uzaktan eğitim süreci dönemlerinde öğrencilerin bire bir danışabilecekleri ve kariyer planları ile ilgili rehberlik yapabilecek gönüllü bireylere olan ihtiyaç daha fazla hissedilmiştir. Projemiz ile gönüllü mentorler ve öğrencilerin tasarlanan platformda titizlikle eşleştirilerek bu soruna çözüm önerisi sunulmaktadır. Bu yazılım sayesinde öğrencilerin mezuniyetleri sonrasında gelecek planlanması ve kariyer hedeflerini belirlemek üzere sorularını sorabilecekleri ve tavsiye alabilecekleri ilgili meslek alanında uzman bireylere danışabilme ortamı sağlayacak bir platform sunulmaktadır. Mobil tabanlı geliştirilen bu uygulama, öğrencilerin alanında uzman mentorlerden birebir mentorlük almasını sağlayarak, gelişimlerine katkı sunmayı amaçlamaktadır. Oluşturulan mobil arayüzü sayesinde öğrencilere kısa sürede mentorlere erişim sağlanması, üst düzey yöneticilerle kolayca bire bir iletişime geçip belirlenen süre

içerisinde destek alınabilmesi, yazılımın özgün ve etkili bir yaklaşım sunmasını sağlamaktadır. Öğrenciler, pandemi ve deprem gibi zorlayıcı süreçlerde uzaktan eğitim almak zorunda kalmaları nedeniyle akranlarıyla olan iletişimleri olumsuz bir şekilde etkilenmiştir. Bu durum, özellikle lisans dönemlerindeki öğrencilik hayatının önemli bir bölümünü kapsayan akran öğrenmesi dinamiklerini olumsuz etkilemiştir. Akranlarıyla iletişim zorlukları, benzer sorunlarla başa çıkan kişilerle bir araya gelememe sorunları öğrencileri daha büyük belirsizliklere sürüklemiştir. Mentörlük yazılımımız, bu zorlukları aşmak ve öğrencilere daha sağlam bir destek sağlamak için tasarlanmıştır. Uygulama Dart dili ve Flutter framework kullanılarak geliştirilmiş olup, veri tabanı olarak Firebase tercih edilmiştir. Görüntülü görüşmelerin gerçekleştirilebilmesi için Agora.io entegrasyonu gerçekleştirilmiştir. Geliştirdiğimiz mobil arayüzlü mentör-öğrenci eşleştirme uygulaması, öğrencilere kariyerlerini şekillendirmelerinde rehberlik edebilecekleri bir platform sunmaktadır. Öğrenciler kariyer hedeflerini mentörlük yazılmı yardımıyla daha net oluşturacaktır.

Anahtar Kelimeler: Mentörlük, Kariyer Gelişimi, Mobil Uygulama, Firebase, Flutter, Eşleştirme Yazılımı

ABSTRACT

This study includes the design stages and processes of a mentor-student matching application developed to support the career development of students in higher education. This software aims to provide a consulting environment to individuals who are experts in the relevant profession where students can ask their questions and get advice in order to plan their future and determine their career goals after graduation. Especially during the distance education process experienced after the pandemic in our country, the need for volunteer individuals to provide one-on-one consulting and career planning guidance to students has been felt more. Our project solves this problem by meticulously matching volunteer mentors and students on the designed platform. Thanks to this software, a platform is offered that will provide a consulting environment to individuals who are experts in the relevant profession where students can ask their questions and get advice in order to plan their future and determine their career goals after graduation. This mobile-based application aims to contribute to the development of students by providing them with one-on-one mentoring from expert mentors in their fields. Thanks to the mobile interface created, students can access mentors quickly, easily communicate with senior managers one-on-one, and receive support within the specified time, allowing the software to offer an original and practical approach. Students have had to receive remote education during challenging times, such as pandemics and earthquakes, which have negatively affected their communication with peers. This has negatively affected peer learning dynamics, which cover a significant part of student life, especially during undergraduate studies. Difficulties in communicating with their peers and being unable to meet with people struggling with similar problems have led students to more

significant uncertainties. Our mentoring software is designed to overcome these difficulties and provide students with more robust support. The software was developed using Dart and Flutter, and Firebase was preferred as the database. Agora.io integration was implemented to enable video calls. The mobile-interface mentor-student matching application we developed offers students a platform where they can guide them in shaping their careers. Students will create their career goals more clearly with the help of mentoring software.

Keywords: Mentoring, Career Development, Mobile Application, Firebase, Flutter, Matching Software

1.GİRİŞ

Pandemi ve deprem gibi olağanüstü olaylar, toplumun birçok kesimini derinden etkilemiş ve özellikle eğitim alanında kritik sorunlara yol açmıştır. Pandemi döneminde zorunlu hale gelen uzaktan eğitim süreci, öğrencilerin kariyer gelişimlerini takip etmelerini zorlaştırmış, mentorlük ve rehberlik gibi fırsatlara erişimlerini kısıtlamıştır. Ayrıca dünya ülkelerinde korana virüs salgın döneminde eğitimde yaşanan olumsuzlukların önde gelen sorunları arasında öğrenme kaybı, okulu bırakma isteği ve beslenme düzenindeki bozukluklar sayılabilir (Saavedra, 2020). Eş zamanlı olarak verilen eğitimlere tüm öğrencilerin erişiminde yaşanılan problemlerin öğrenciler arasında fırsat eşitsizliğine neden olduğu belirtilmektedir (Saran, 2020). Sosyal gelişimlerini olumsuz yönde etkileyerek sosyal ortamdan uzaklaşmalarına sebep olmuştur. Benzer şekilde, doğal afetlerin yol açtığı travmatik süreçler, öğrencilerin eğitim hayatında ciddi aksamalara sebep olmuş ve sektörel bilgiye erişimi zorlaştırmıştır. Bu zorlu koşullar içerisinde öğrencilerin mentor ve akran öğrenmesi süreçlerinden mahrum kalması, öğrenme verimliliğini azaltmış, akademik başarıda gerilemelere yol açmıştır. Pandeminin yarattığı psikolojik baskı, sosyalleşememe ve alışılagelen eğitim kültürünün yüz yüze sınıf eğitimi biçiminde olması sebebiyle öğrencilerin önemli bir kısmı, yapılan değerlendirmelerde çevrimiçi eğitimin verimli olmadığı yönünde görüş bildirmişlerdir (Bozkurt A. , 2020; Ezginci, 2020; Keskin & Özer Kaya, 2020). Bu dönemlerde öğrencilerin eğitim hayatına uyum sağlamakta zorlanmaları, bilgi aktarımı ve mentorluk hizmetlerine ulaşma ihtiyaçlarını daha da belirgin hale getirmiştir. Geleneksel mentorluk yöntemlerinin yetersiz kalma ihtimalinin yüksek olduğu bu dönemde, öğrencilerin güncel bilgiye hızlı ve etkili bir şekilde erişebileceği, aynı zamanda sosyal etkileşimlerini devam ettirebileceği yenilikçi bir çözüme ihtiyaç duyulmuştur. Öğrencilerin yaşadığı kariyer kaygıları ve belirsizlikleri, mentorluk hizmetlerinin sürdürülebilir ve erişilebilir hale getirilmesini zorunlu kılmıştır. Mentorluğun temel amacı, bireyin özsaygısını artırmak, kariyer seçeneklerini değerlendirmesine yardımcı olmak ve profesyonel hayatta karşılaşabileceği zorluklara karşı destek sunmaktır (Sattar ve Siddiqui, 2010).

Bu çalışma kapsamında geliştirilen mobil uygulama, öğrencilere ilgi alanlarına ve kariyer hedeflerine uygun şekilde uyumlu mentorlerle kolayca doğru bir eşleşme fırsatı sunarak,

onlara kariyer yolculuklarında rehberlik etmelerini sağlamaktadır. Kullanıcılar uygulamaya giriş yaptıktan sonra, profil bilgileri ve ilgi alanları doğrultusunda uygulama tarafından uygun mentor veya öğrenci ile eşleştirilmekte ve öğrenci-mentor ilişkisi başlatılmaktadır. Eşleştirme sistemi, veri tabanında saklanan veriler üzerinden yapılan uygun sorgularla gerçekleştirilmektedir. Mentörlerin uzmanlık alanları, kariyer geçmişleri ve öğrencilerin ilgi alanları gibi kriterler göz önünde bulundurularak her öğrenciye en uygun mentor atanmaktadır. Bu doğrultuda, öğrenciler hem akademik hem de sosyal açıdan destek bulmakta, sektör profesyonelleriyle kolay ve rahat şekilde bir araya gelebilmektedir. Tüm bu süreçte etkin bir şekilde bilgi aktarımı gerçekleştirilebilmektedir.

Uygulamanın temel amacı sürdürülebilir mentorluk hizmetleri sunarak öğrencilerin akademik başarılarını ve sosyal etkileşimlerini arttırmaktadır. Kullanıcı dostu arayüz ve akıllı eşleştirme algoritmaları aracılığı ile öğrenci-mentor etkileşimleri planlı ve verimli bir hale getirilmiştir. Bu çalışma ile mentorluk süreçlerinin dijital ortama aktarılmasına katkı sağlaması hedeflenmektedir. Uygulama, sadece akademik başarının ötesine geçerek, öğrencilerin sadece akademik bilgiyle sınırlı kalmadan profesyonel hayatın gerekliliklerine dair farkındalık kazanmalarını, sektördeki gelişmeleri yakından takip etmelerini ve daha bilinçli kariyer kararları almalarını sağlamayı hedeflemektedir.

2. YÖNTEM

Bu bölümde MentApp uygulamasının geliştirilme süreci, kullanılan yazılım geliştirme yöntemleri, teknolojiler, veri tabanı tasarımı ve uygulamanın özellikleri detaylandırılmaktadır.

2.1 Yazılım Geliştirme Süreci

Uygulama geliştirme sürecinde Dart programlama dili ve Flutter framework'ü kullanılmıştır. Firebase veri tabanı kullanılarak kullanıcı bilgileri, eşleştirme algoritmaları ve görüşme kayıtları saklanmaktadır. Kullanıcıların online görüşmeler yapabilmesi için Agora.io entegrasyonu sağlanmıştır. Agora.io, basit ve güçlü bir SDK aracılığıyla gerçek zamanlı ses ve video iletişimi eklemeniz için yapı taşları sağlar.

2.2 Veri Tabanı Tasarımı

MentApp uygulaması, Firebase Firestore veri tabanı kullanılarak geliştirilmiştir. Firestore'un esnek yapısı, verilerin kolayca organize edilmesini sağlarken, yüksek performans gereksinimlerini karşılayacak şekilde tasarlanmıştır.

Mentorlerin uzmanlık alanları ve öğrencilerin ilgi alanları, Firebase Firestore veri tabanında saklanarak en uygun eşleştirme modeli oluşturulmuştur. Uygulamanın veri tabanı, aşağıdaki koleksiyonlar ve yapılar üzerinden organize edilmiştir.

Uygulama, aşağıdaki temel koleksiyonlardan yararlanır:

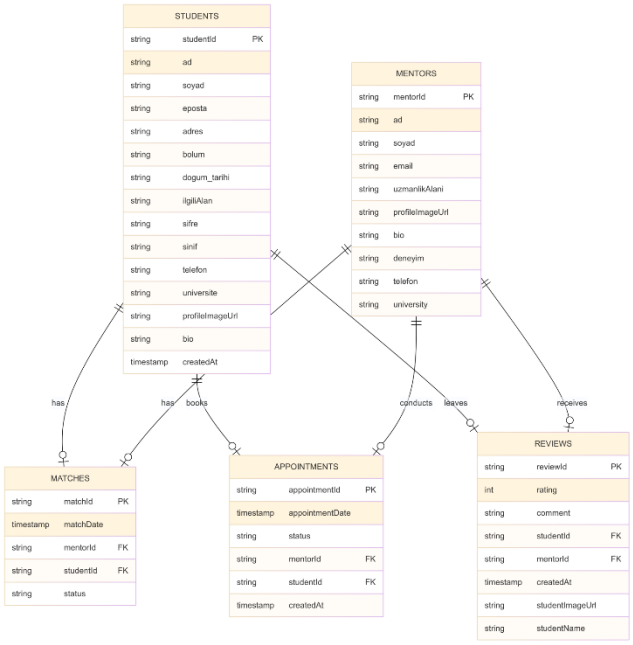
1. **students**(Öğrenciler):
   Bu koleksiyon, öğrencilerin bilgilerini ve eşleştikleri mentorlarla ilgili verileri içerir.

Öğrencilerin ID'si, ad, soyad, e-posta, ilgi alanları, eşleştiği mentorlar de bu koleksiyonda yer alır.

2. **mentors**(Mentorler):
   Mentorların kişisel bilgileri ,uzmanlık alanları, deneyimleri ve iletişim bilgileri bu koleksiyon altında saklanır. Ayrıca, mentorlerin uygunluk bilgileri ve değerlendirme puanları da burada yer alır.
3. **matches**(Eşleşmeler):
   Mentor ve öğrencelerin eşleşmelerini takip etmeye yaramaktadır. Öğrencinin ilgili alanı ile mentörün uzmanlık alanı aynı olduğunda eşleşme gerçekleşeceğinden bu bilgiler de koleksiyonda tutulur . Bu koleksiyon, her eşleşme için öğrenci ve mentor ID'lerini, eşleşme tarihini ve eşleşmenin aktiflik durumunu içerir.
4. **randevular**(Randevular):
   Öğrencinin eşleştiği mentorun uygunluk bilgilerine göre planlanan görüşmelerin yönetildiği koleksiyondur. Her randevu için tarih, saat gibi bilgiler saklanır.
5. **reviews**(Değerlendirmeler):
   Öğrencilerin ve mentorların verdikleri puanlar ve geri bildirimler bu koleksiyonda tutulur.

Veri Tabanı İlişkileri

Veri tabanında, öğrenciler ile mentorler arasında eşleşmelerin takip edilmesi için belirli ilişkiler oluşturulmuştur. Aşağıda, bu ilişkiler ve koleksiyonlar arasındaki bağlantılar verilmiştir.



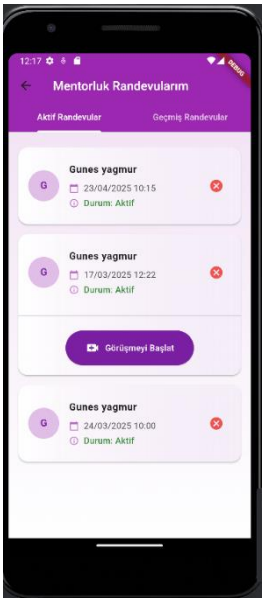
Şekil 1. Veri Tabanı

2.3 Görüşme Sistemi

Öğrencilerin ve mentorlerin başka bir uygulamaya ihtiyaç duymadan doğrudan MentApp üzerinden iletişime geçebileceği bir sistem tasarlanmıştır. Randevu saati yaklaştığında

aktifleşen bir buton sayesinde mentor görüşmeyi başlatabilir ve mentor görüşmeyi başlattıktan sonra öğrencide aktifleşen buton sayesinde öğrenci de katılım sağlar.

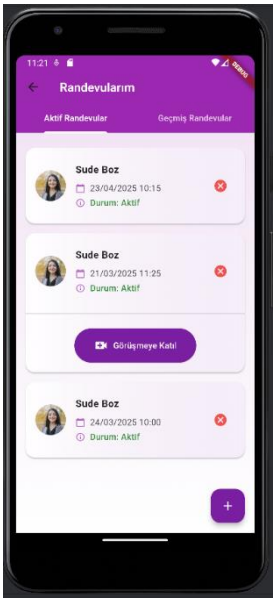
Uygulamada, mentorler ve öğrenciler arasında online görüntülü görüşmeler için güvenilir bir sesli ve görüntülü görüşme altyapısı olan Agora.io SDK entegre edilmiştir. Kullanıcılar, belirlenen randevu saatlerinde uygulama üzerinden güvenli bir bağlantı ile görüşme yapabilmektedir. Güvenlik açısından ,her görüşme için özel bir kanal oluşturulup yalnızca ilgili mentor ve öğrenci bu kanala erişebilmektedir.



Şekil 2. Randevu Ekranı



Şekil 3. Görüşme Ekranı



Şekil 4. Açılış Ekranı

2.4 Kullanıcı Kayıt ve Giriş Sistemi:

Mentor ve öğrencinin farklı arayüzlerle kullanıcı kaydı oluşturacağı bir sistem geliştirildi. Firebase Authentication ile kullanıcıların güvenli giriş yapması sağlandı. Öğrencilerin ve mentorlerin rahatlıkla kullanabileceği kullanıcı dostu kayıt ve giriş sayfaları dizayn edildi.

2.6 Mentör ve Öğrenci Profil Sayfalarının Tasarımı

Öğrencilerin ve mentorlerin kişisel bilgilerini düzenleyebilecekleri sayfalar oluşturuldu. Mentor profil sayfasında geçmiş deneyimleri, iletişim bilgileri ve görüşmeler için uygun zaman aralıklarını seçebileceği bölümler dizayn edilerek kullanım kolaylığı sağlandı. Profil sayfasında, yapılan görüşmelerin istatistiklerinin alınarak nicel sonuçların gözlemlenebileceği küçük bir bölüme de yer verildi. Öğrenciler için tasarlanan ekranda titizlikle eşleştirildiği mentorunun bilgileri de bulunmaktadır.

2.7 Ana Sayfa Tasarımı:

Kullanıcı uygulamayı açtığında henüz kayıt olmadan fikir sahibi olabilmesi için ana sayfaya direkt erişim sağlayabiliyor. Ana sayfada uygulamanın işlevi, sağladığı hizmetler, kullanıcı yorumları ve sıkça sorulan sorular gibi bölümlere yer verildi. Ayrıca kullanıcının mentor veya öğrenci olması durumunda ana sayfa tasarımı değişerek her kullanıcı için en işlevsel hale

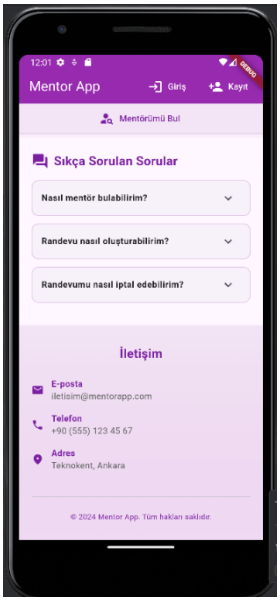
getirilmiştir. Üst kısımda kullanıcının kendi alanına yönelik en uygun mentör ile eşleşmesi için yer alan mentörümü bul butonunu yer almaktadır. Öğrenci ve mentorun ana sayfasında randevularını görüntüleyerek planlama yapabilecekleri bir buton bulunmaktadır. Mentorün ana sayfasından ulaşabileceği bir butonla eşleştiği tüm öğrencilerini görüp listeleyebileceği bir bölüm de tasarlanmıştır.



Şekil 5. Ana Sayfa



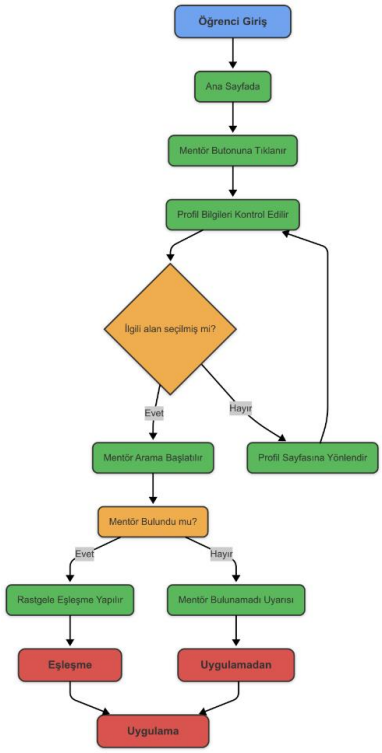
Şekil 5.1. Ana Sayfa



Şekil 5.2. Ana Sayfa

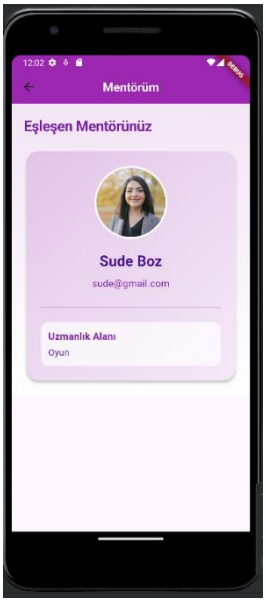
2.8 Mentor Bulma Algoritması:

Öğrencinin tercihleri ve geçmiş deneyimleri doğrultusunda, mentor bilgileri incelenerek öğrenci için en çok verimlilik sağlayabilecek en uygun mentörle eşleşmesini sağlayan algoritmalar geliştirildi. Henüz giriş yapmamış kullanıcının bu butona tıklaması durumunda kullanıcı giriş sayfasına yönlendirme yapılmaktadır. Öğrenci profil sayfasında ilgi alanı gibi bölümleri doldurmadan mentor bulma işlemini gerçekleştirmek isterse öğrenciye profil bilgilerini tamamlaması gereken bir uyarı verir ve bilgiler tamamlanmadan eşleştirme işlemini gerçekleştirmez.



: **Şekil 6.** Algoritma Akış Şeması

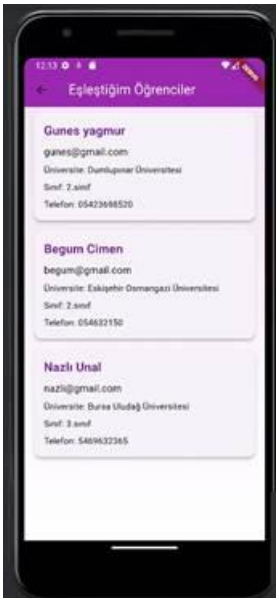
Bu algoritma, MentApp uygulamasının öğrenci ve mentor arasında en etkin eşleşmeyi sağlamak amacıyla geliştirilmiştir. Eşleştirme sürecinde her aşamada kullanıcılara doğru bilgi sunarak en uygun eşleşmenin yapılmasını sağlar.



Şekil 7. Mentörüm



Şekil 8. Mentörümü Bul

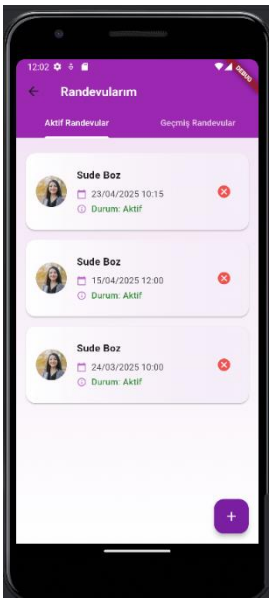


Şekil 9. Öğrencilerim

2.9 Randevu Yönetimi:

Kullanıcıların randevu oluşturmasını ve geçmiş randevularını görüntüleyebileceği kullanıcı dostu bir sistem tasarlandı. Mentorlerin sisteme girdiği uygunluk saatleri baz alınarak, öğrenciler eşleştikleri mentorlerden uygun zaman aralıklarında randevu alabilecekleri bir

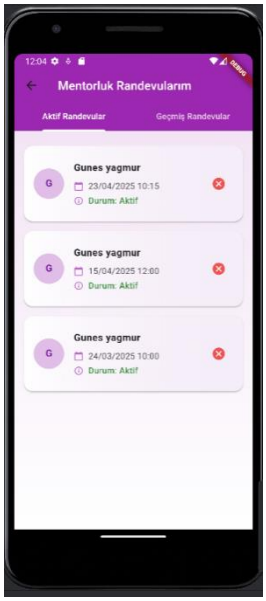
ekran geliştirildi. Bu ekran üzerinden geçmiş, gelecek ve iptal edilen randevular da görüntülenebilmektedir.



Şekil 16. Öğrencilerim



Şekil 16.1. Öğrencilerim



Şekil 16.3. Öğrencilerim



Şekil 16.2 Öğrencilerim

2.10 Test Süreci:

Test kullanıcıları ile uygulama fonksiyonları test edilerek hatalar giderildi ve uygulama geliştirildi.

3.ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Eğitimde kaliteyi artırmak ve akademik standartları yüksek seviyelere taşımak amacıyla mentorluk uygulamalarının yaygınlaştırılması önemli bir gereklilik haline gelmiştir. Mentorluk sürecini yöneten bireylerin yeterli yetkinliklere sahip olması, akademik başarının

artırılması ve kariyer gelişimi açısından kritik bir rol oynamaktadır. Bu nedenle, üniversitelerin öğrencilerini yalnızca akademik bilgiyle donatmak yerine, iş dünyasına hazırlayan sistematik mentorluk programlarıyla desteklemesi gerekmektedir. Ancak, Türkiye'deki üniversitelerde dijital olarak yürütülen sistematik bir mentorluk programına ilişkin kapsamlı bir çalışma bulunmamaktadır. Bu eksiklik, mentorluk süreçlerinin daha etkin yönetilebilmesi için yeni ölçme ve değerlendirme araçlarının geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu doğrultuda geliştirilen uygulamamız, mevcut ihtiyacı karşılamayı amaçlamaktadır ve bu alandaki eksiklikleri gidermektedir.

Mentorluk kavramı, genellikle koçluk ve danışmanlık ile karıştırılmaktadır. Koçluk, bireyin potansiyelini en üst düzeye çıkarmak ve belirli hedeflere ulaşmasını sağlamak amacıyla uygulanan kısa vadeli bir süreçtir (Özalp ve Demirci, 1999). Buna karşın mentorluk, bireyin uzun vadeli kariyer gelişimini destekleyen bir rehberlik ilişkisi sunmaktadır (Thomas vd., 2015). Mentorluğun temel hedefi, bireyin özsaygısını artırmak, kariyer olanaklarını değerlendirmesine yardımcı olmak ve profesyonel yaşamda karşılaşabileceği zorluklara karşı destek sağlamaktır (Sattar ve Siddiqui, 2010). Bu bağlamda geliştirilen yazılım, öğrencilerin kariyer gelişimlerine yönelik etkili bir sürecin işlenmesini sağlayarak onlara kariyer hayatları için önemli avantajlar sunmaktadır.

Literatürde, mentorluk süreçlerinin bireylerin akademik başarısını ve kariyer gelişimini olumlu yönde etkilediği vurgulanmaktadır (Jacobi, 1991; Bierema ve Meriam, 2002). Mentorluk uygulamaları, öğrencilerin problem çözme yeteneklerini geliştirmekte, iş dünyasına daha hızlı uyum sağlamalarına yardımcı olmakta ve profesyonel ağlarını genişletmelerine olanak tanımaktadır. Clutterbuck (1991) ve Kuzu & Kahraman (2010) çalışmalarında, mentorluk süreçlerinin bilgi paylaşımı ve deneyim aktarımı açısından büyük önem taşıdığını belirtmektedir. Bu doğrultuda, mobil uygulama tabanlı bir mentorluk platformunun hayata geçirilmesi hem menteeler hem de mentorlar için interaktif ve verimli bir deneyim sunarak bu sürecin etkinliğini artırmaktadır.

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte e-mentorluk kavramı da giderek önem kazanmaktadır. E-mentorluk uygulamaları, mentor ve mentee arasındaki etkileşimi artırmak için çevrimiçi platformlar ve dijital iletişim araçlarından yararlanmaktadır (O'Neil vd., 2005). Geleneksel olarak e-posta yoluyla başlayan bu süreç, günümüzde görüntülü görüşme ve forumlar gibi daha etkileşimli yöntemlerle desteklenmektedir. Bu sayede coğrafi engeller ortadan kalkmakta ve mentorluk hizmetlerine erişim daha geniş bir kitleye ulaşabilmektedir. Geliştirilen mobil uygulama kendi içeriğinde bulunun eşleştirme algoritması ve görüntülü görüşme sistemi sayesinde e-mentorluk düzleminde daha pratik ve hızlı bir etkileşim platformu sunarak mentor desteğinin etkinliğini artırmaktadır.

Mentor-mentee eşleştirme süreci, mentorluk programlarının başarısını doğrudan etkileyen en kritik faktörlerden biridir (Kuzu ve Kahraman, 2010). Bu süreçte, bireylerin kişilik özellikleri, öğrenme stilleri ve hedefleri dikkate alınarak en uygun mentor-mentee ilişkisi

oluşturulmalıdır. Eby ve Lockwood (2005) tarafından yapılan çalışmalar, mentorluk sürecinde mentorların bilgi ve deneyim aktarımının yanı sıra, psikolojik destek sağlamalarının da önemli olduğunu vurgulamaktadır. Bu bağlamda geliştirilen algoritmik eşleştirme sistemi sayesinde, uygulamamızda en doğru mentor-mentee eşleşmeleri yapılarak sağlıklı ilişkilerin kurulması sağlanmaktadır.

Sonuç olarak, mentorluk uygulamalarının akademik başarı, kişisel gelişim ve kariyer planlamasına olan olumlu etkileri literatürde geniş bir şekilde desteklenmektedir (Headlam-Wells vd., 2006; Miller, 2002). Bu nedenle, mentorluk programlarının eğitim kurumlarında daha etkin ve yaygın bir şekilde uygulanması gerekmektedir.

4.SONUÇ

Bu çalışma, lisans öğrencilerinin kariyer gelişimini destekleyen ve profesyonel yönlendirme sağlayan bir mentorluk uygulamasının tasarım ve geliştirme sürecini ele almaktadır. Literatürde, mentorluk uygulamalarının öğrenci motivasyonunu artırdığı ve akademik başarıya olumlu katkılar sunduğu belirtilmektedir (Jacobi, 1991; Bierema ve Meriam, 2002). Araştırma bulguları, öğrenci-mentor eşleştirme sürecinin etkin bir şekilde yürütüldüğünü ve mentor desteğinin öğrenci kaygılarını azalttığını göstermektedir.

Yapılan testler ve kullanıcı geri bildirimleri, geliştirilen mobil uygulamanın etkili bir rehberlik aracı olduğunu ortaya koymuştur. Öğrenciler, uygulama sayesinde alanında uzman mentorlerle birebir görüşerek mesleki bilgi ve deneyimlerden faydalanmış ve kariyer planlamalarını daha bilinçli bir şekilde yapabilmiştir. Prototip testleri sonucunda, uygulamanın kullanıcı memnuniyeti oranının yüksek olduğu belirlenmiş; kullanıcılar, arayüzün kullanım kolaylığı, mentör eşleştirme doğruluğu, randevu sisteminin işleyişi ve görüntülü görüşmelerin kalitesi gibi konularda olumlu geri bildirimlerde bulunmuştur. Bu sonuçlar, geliştirilen yazılımın öğrenci ve mentör eşleştirme sürecinde etkili bir sistem sunduğunu kanıtlamaktadır.

Gelecekte, mentorluk yazılımının yapay zekâ destekli eşleştirme algoritmaları, gelişmiş randevu yönetimi ve geri bildirim analizleri ile daha da iyileştirilmesi planlanmaktadır. Ayrıca, farklı üniversitelere yaygınlaştırılarak daha geniş bir öğrenci kitlesine ulaşması hedeflenmektedir. Sonuç olarak, geliştirilen uygulama, öğrencilerin kariyer gelişimini destekleyen, profesyonel yönlendirme sunan ve eğitim sürecindeki belirsizlikleri azaltan güçlü bir dijital mentorluk platformu olarak değerlendirilmektedir. Uygulamanın daha fazla öğrenciye ulaşması ve farklı akademik kurumlarda yaygınlaştırılması için geliştirme çalışmalarının devam etmesi önerilmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı tarafından 1919B012319226 Nolu Araştırma Projesi olarak desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

[1] Lau, J., Yang, B. & Dasgupta, R. (2020).
[2] YURDAKUL, B. (2015). Uzaktan eğitim. Ö. Demirel (Ed.), Eğitimde yeni yönelimler içinde (s. 271- 288). Ankara: Pegem.
[3] Anderson, J. (2020). Brave New World The coronavirus pandemic is reshaping education.
[4] Bierema, L. L., & Meriam, S. B. (2002). Mentorship and Career Development. Journal of Career Development, 29(3), 211-222.
[5] Clutterbuck, D. (1991). Everyone Needs a Mentor. Institute of Personnel and Development.
[6] Eby, L. T., & Lockwood, A. (2005). Proteges' and Mentors' Reactions to Mentoring: A Meta-Analytic Review. Journal of Applied Psychology, 90(1), 127-136.
[7] Gümüş, E. (2015). Eğitimde Mentörlük Uygulamalarının Etkinliği. Eğitim Bilimleri Dergisi, 3(2), 45-58.
[8] Headlam-Wells, J., Craig, J., & Gosland, J. (2006). E-mentoring for Professional Women: A Learning Journey. Journal of Workplace Learning, 18(4), 331-345.
[9] Jacobi, M. (1991). Mentoring and Undergraduate Academic Success: A Literature Review. Review of Educational Research, 61(4), 505-532.
[10] Kuzu, A., & Kahraman, Y. (2010). Mentorluk Programlarının Öğrenci Başarısına Etkisi. Eğitim ve Bilim, 35(158), 679-680.
[11] McDermott, I. (1996). Coaching and Mentoring for Academic Success. Cambridge University Press.
[12] Miller, A. (2002). Mentoring Students & Young People. Kogan Page.
[13] O'Neil, D. A., Hopkins, M. M., & Bilimoria, D. (2005). Women's Careers at the Start of thze 21st Century: Patterns and Paradoxes. Journal of Business Ethics, 62(4), 111-123.
[14] Özalp, İ., & Demirci, K. (1999). Koçluk ve Mentorluk: İş Dünyasında Başarı İçin Rehberlik. İş ve İnsan Dergisi, 2(1), 67-85.
[15] Passmore, J. (2007). Coaching and Mentoring: The Role of Experience and Sector Knowledge. Journal of Management Development, 12(1), 12-19.
[16] Sattar, T., & Siddiqui, S. (2010). The Impact of Mentoring on Career Success. International Journal of Business Research, 8(2), 234-250.
[17] Thomas, R., Smith, K., & Jones, L. (2015). The Impact of Mentorship in Higher Education. Journal of Educational Research, 45(2), 345-362.
[18] Watson, C. (2006). E-mentoring: Benefits and Challenges. British Journal of Educational Technology, 37(2), 175-183.
[19] Yıldırım, A., & Yılmaz, E. (2013). Fakülteler Arasında Mentorluk Algısının Karşılaştırılması. Akademik Araştırmalar Dergisi, 10(1), 87-99.
[20] Bierema, L. L., & Meriam, S. B. (2002). Mentorship and Career Development. Journal of Career Development, 29(3), 211-222.

[21] Clutterbuck, D. (1991). Everyone Needs a Mentor. Institute of Personnel and Development.
[22] Jacobi, M. (1991). Mentoring and Undergraduate Academic Success: A Literature Review. Review of Educational Research, 61(4), 505-532.
[23] Kuzu, A., & Kahraman, Y. (2010). Mentorluk Programlarının Öğrenci Başarısına Etkisi. Eğitim ve Bilim, 35(158), 679-680.
[24] Miller, A. (2002). Mentoring Students & Young People. Kogan Page.
[25] Passmore, J. (2007). Coaching and Mentoring: The Role of Experience and Sector Knowledge. Journal of Management Development, 12(1), 12-19.
[26] Thomas, R., Smith, K., & Jones, L. (2015). The Impact of Mentorship in Higher Education. Journal of Educational Research, 45(2), 345-362.
[27] Lau, J., Yang, B. & Dasgupta, R. (2020).
[28] Saran, S. (2020). Technology: Digital Epiphany? COVID-19 and Our Tech Futures. Challenges and Opportunities in the Post-COVID-19 World, 24-27.
[29] Saavedra, J. (2020). Educational challenges and opportunities of the Coronavirus (COVID19) pandemic.
[30] Bozkurt, A. (2020). Koronavirüs (Covid-19) pandemi süreci ve pandemi sonrası dünyada eğitime yönelik değerlendirmeler: Yeni normal ve yeni eğitim paradigması. Açıköğretim Uygulamaları ve Araştırmaları Dergisi , 112-142.

VEGAN RESTORAN MÜŞTERİ YORUMLARININ VADER VE ROBERTA ALGORİTMALARI İLE KARŞILAŞTIRMALI DUYGU ANALİZİ

COMPARATIVE SENTIMENT ANALYSIS OF VEGAN RESTAURANT CUSTOMER REVIEWS WITH VADER AND ROBERTA ALGORITHMS

Berker DAL
Arş. Gör, Pamukkale Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, Denizli/Türkiye
Research Assistant, Pamukkale University, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Department of Management Information Systems, Denizli/Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-9019-1896

Aylin SABANCI BAYRAMOĞLU
Arş. Gör, Pamukkale Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, Denizli/Türkiye
Research Assistant, Pamukkale University, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Department of Management Information Systems, Denizli/Türkiye
ORCID ID: 0000-0003-2901-1224

ÖZET

Vegan beslenme tercihlerinin giderek yaygınlaşması, müşteri deneyimlerinin daha derinlemesine analiz edilmesini ve bu doğrultuda restoran işletmecileri için veri odaklı stratejilerin geliştirilmesini gerekli kılmaktadır. Geleneksel değerlendirme yöntemleri, müşteri geri bildirimlerini anlamada yetersiz kalabilirken, doğal dil işleme (DDİ) teknikleri sayesinde müşteri yorumlarının duygu analizi daha sistematik ve ölçeklenebilir bir hale gelmiştir. Bu çalışma, Birleşik Krallık'taki vegan temalı restoranlara yönelik çevrimiçi müşteri yorumlarını analiz ederek, iki farklı duygu analizi yöntemi olan VADER ve RoBERTa algoritmalarının performanslarını karşılaştırmayı amaçlamaktadır. Araştırma kapsamında, bir seyahat platformundan elde edilen 104 vegan temalı restorana ait 11.433 müşteri yorumu analiz edilmiştir. Yorumlar, VADER ve RoBERTa algoritmaları kullanılarak işlenmiş ve her bir yorumun duygu skoru belirlenmiştir. K-Means kümeleme yöntemi ile restoranlar coğrafi konumları ve duygu skorları bakımından kümelenmiş, böylece farklı bölgelerde müşteri memnuniyeti açısından nasıl bir dağılım olduğu incelenmiştir. Elde edilen bulgular, kullanılan duygu analizi algoritmalarının metodolojik sınırlılıklarını ortaya koymaktadır. Sözlük tabanlı VADER algoritması, bağlamsal nüansları yakalamakta sınırlılıklar gösterirken, hafif ve hesaplama açısından verimli bir çözüm sunmaktadır. Buna karşılık, derin öğrenme tabanlı RoBERTa dil modeli, daha yüksek duygu sınıflandırma doğruluğu sağlamış, ancak işlem süresi ve hesaplama maliyeti açısından daha yoğun kaynak kullanımı gerektirmiştir. Coğrafi kümeleme analizi, müşteri duygu skorlarında mekânsal farklılıkları ortaya çıkarmıştır. Bulgular, metropoliten bölgelerdeki vegan restoranların genel olarak daha düşük duygu puanlarına sahip olduğunu, buna karşın daha küçük şehirlerde veya kırsal alanlarda müşteri

memnuniyetinin görece daha yüksek olduğunu göstermektedir. Bu çalışma, vegan restoran işletmecileri için müşteri memnuniyeti stratejilerinin geliştirilmesine katkı sağlamayı ve bölgesel taleplerin daha iyi yönetilmesine yardımcı olmayı hedeflemektedir. Ayrıca, DDİ tekniklerini kullanarak büyük ölçekli müşteri yorumlarının analiz edilmesine yönelik bir çerçeve sunmakta ve hem restoran sektörü hem de duygu analizi araştırmaları açısından gelecekteki çalışmalar için yeni araştırma alanları önermektedir.

Anahtar Kelimeler: Duygu Analizi, Kümeleme Analizi, Doğal Dil İşleme, Vegan Restoranlar, Müşteri Deneyimi.

ABSTRACT

The rising popularity of vegan diets has prompted a need for a more thorough examination of customer experiences and the formulation of data-driven strategies for restaurant operators. Conventional evaluation methods may not fully capture customer feedback, whereas natural language processing (NLP) techniques have enhanced the systematic and scalable analysis of customer reviews. The present study aims to compare the performance of two different sentiment analysis algorithms, VADER and RoBERTa, by analyzing online customer reviews of vegan-themed restaurants in the UK. Within the scope of the research, 11.433 customer reviews of 104 vegan-themed restaurants obtained from a travel platform were analyzed. The reviews were processed using VADER and RoBERTa algorithms, and the sentiment score of each review was determined. The K-Means clustering method was then used to cluster restaurants in terms of their geographical location and sentiment scores, thereby examining the distribution of customer satisfaction in different regions. The findings reveal the methodological limitations of the sentiment analysis algorithms used. While the dictionary-based VADER algorithm has limitations in capturing contextual nuances, it offers a lightweight and computationally efficient solution. In contrast, the deep learning-based RoBERTa model, despite its superior sentiment classification accuracy, is more resource intensive in terms of processing time and computational cost. The geographic cluster analysis revealed spatial differences in customer sentiment scores, with vegan restaurants in metropolitan areas generally having lower sentiment scores and higher customer satisfaction in smaller cities or rural areas. While this study aims to assist vegan restaurant operators improve their customer satisfaction strategies and manage regional demand more effectively, it also provides a framework for analyzing large-scale customer reviews with NLP techniques, suggesting new research areas for future work in both the restaurant industry and sentiment analysis research.

Keywords: Sentiment Analysis, Cluster Analysis, Natural Language Processing, Vegan Restaurants, Customer Experience.

MAKİNE ÜRETİMİ SAHTE ÜRÜN YORUMU TESPİTİNDE BÜYÜK DİL MODELLERİNİN ETKİNLİĞİ

EFFECTIVENESS OF LARGE LANGUAGE MODELS IN DETECTING COMPUTER-GENERATED FAKE PRODUCT REVIEWS

Aylin SABANCI BAYRAMOĞLU
Arş. Gör, Pamukkale Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, Denizli/Türkiye
Research Assistant, Pamukkale University, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Department of Management Information Systems, Denizli/Türkiye
ORCID ID: 0000-0003-2901-1224

Berker DAL
Arş. Gör, Pamukkale Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, Denizli/Türkiye
Research Assistant, Pamukkale University, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Department of Management Information Systems, Denizli/Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-9019-1896

ÖZET

Çevrimiçi alışverişin yaygınlaşması, tüketicilere ürün satın alma süreçlerinde daha fazla seçenek sunmaktadır. Tüketiciler, sunulan bu seçenekleri karşılaştırmak için ürün yorumlarından faydalanmaktadır. Ürün yorumları tüketicilerin satın alma davranışlarını ve pazarlama stratejilerini etkileyen önemli bir faktördür. Ürünler için gerçek yorumların yanı sıra sahte yorumlar da üretilebilmektedir. Doğal dil işleme teknolojilerindeki gelişmeler, üretici dil modellerinin büyük ölçekte ve daha az maliyetle sahte ürün yorumları üretmesine olanak sağlamaktadır. Sahte yorumların ürün satışları üzerinde, firma itibarı üzerinde veya finansal alanda olumlu ya da olumsuz etkileri bulunmaktadır. Bu bağlamda da sahte yorumların tespit edilmesi önemli bir konu haline gelmektedir. Bu çalışma, büyük dil modellerinin makineler tarafından üretilen sahte ürün yorumlarını tespit etme konusundaki etkinliğini araştırmayı amaçlamaktadır. Bu kapsamda, geleneksel anomali tespit yöntemleri ile büyük dil modellerinin makine üretimi sahte yorumları ne derece başarılı bir şekilde ayırt edilebileceği incelenmiştir. Çalışmada, gerçek kullanıcı yorumları ile üretici dil modeli tarafından oluşturulan sahte ürün yorumları içeren dengeli bir veri seti kullanılmıştır. Bu veri seti, makine üretimi sahte yorumları tespit etmek amacıyla farklı yöntemlerle analiz edilmiştir. Geleneksel anomali tespit yöntemleri arasında yer alan İzolasyon Ormanı (Isolation Forest) algoritması ile büyük dil modelleri arasında yer alan DistilBERT, RoBERTa ve OpenAI Detector modellerinin performansları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Büyük dil modelleri iki farklı yaklaşımla ele alınmıştır. Bu yaklaşımlar, ön eğitim gerektirmeyen sıfır atışlı (zero-shot) yaklaşım ve alana özgü veri seti üzerinde eğitilen ince ayar (fine-tuning) yaklaşımıdır. Araştırma bulguları, ince ayar uygulanmış DistilBERT ve

RoBERTa modellerinin en yüksek doğruluk oranına sahip olduğunu ortaya koymuştur. İzolasyon Ormanı anomali tespit yönteminin ise daha düşük performans gösterdiği belirlenmiştir. Sonuç olarak, büyük dil modellerinin geleneksel anomali tespit yöntemine kıyasla makine üretimi sahte ürün yorumlarını gerçek kullanıcı yorumlarından başarılı bir şekilde ayırt edebildiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Büyük Dil Modeli, Üretici Yapay Zeka, Anomali Tespit, Sahte Ürün Yorumu.

ABSTRACT

The widespread use of online shopping offers consumers more options in their product purchasing processes. Consumers benefit from product reviews to compare the options available to them. Product reviews are an important factor influencing consumer purchase behaviour and marketing strategies. In addition to real reviews, fake reviews can also be generated for products. Developments in natural language processing technologies have enabled generative language models to produce fake product reviews on a large scale and at low cost. Fake reviews have positive or negative effects on product sales, company reputation, or finances. In this context, the detection of fake reviews becomes an important issue. This study aims to investigate the effectiveness of large language models in detecting fake machine generated product reviews. In this context, the study examines the extent to which traditional anomaly detection methods can successfully distinguish between machine-generated fake reviews and those generated by large language models. The study used a balanced dataset of real user reviews and fake product reviews generated by the language model. This dataset was analysed using different methods to detect machine-generated fake reviews. The performance of the Isolation Forest algorithm, one of the traditional anomaly detection methods, was compared with that of large language models such as DistilBERT, RoBERTa and OpenAI Detector. Large language models have been approached with two different approaches. These approaches are the zero-shot approach, which requires no pre-training, and the fine-tuning approach, which is trained on domain-specific datasets. Research has shown that the fine-tuned models DistilBERT and RoBERTa have the highest accuracy rates. The Isolation Forest anomaly detection method was found to have lower performance. As a result, it was found that large language models can successfully distinguish computer-generated fake product reviews from real user reviews compared to traditional anomaly detection method.

Keywords: Large Language Model, Generative Artificial Intelligence, Anomaly Detection, Fake Product Review.

BETON BASIÇ DAYANIMI TAHMİNİNDE KULLANILAN BAZI AMPİRİK FORMÜLLER VE MAKİNE ÖĞRENME (ML) MODELLERİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

A STUDY ON SOME EMPIRICAL FORMULAS AND MACHINE LEARNING (ML) MODELS USED IN PREDICTING CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH

Yusuf Tahir ALTUNCI
Assist. Prof. Dr., Isparta University of Applied Sciences, Technical Sciences Vocational School, Construction Technology Program
ORCID NO: 0000-0002-5418-7742

ÖZET

Betonun basınca karşı göstermiş olduğu en yüksek dayanım değeri, beton basınç dayanımı olarak ifade edilir. Beton basınç dayanımı yapı güvenliği için en önemli parametrelerden biridir. Bu nedenle, hem proje planlaması hem de saha uygulamaları hedeflenen beton basınç dayanımı esas alınarak gerçekleştirilir. Ancak, beton üretiminde homojen bir yapı elde edilmeye çalışılsa da, beton genellikle heterojen bir yapıya sahip kompozit bir malzemedir. Bu heterojen yapı, betonun basınç dayanımını olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Tüm bu bilgiler ışığında, beton basınç dayanımını doğru bir şekilde tahmin etmeye yönelik çalışmalar, araştırmacıların ilgi odağı konumundadır. Literatürde farklı beton türleri için farklı ampirik formüller (Abram Yasası, Bolomey Formülü, Feret Formülü, DIN 1045 Standardında Belirtilen Formül, Neville Formülü ve Powers ve Brownyard Teoremi) ve makine öğrenme (ML) modelleri (Denetimli Öğrenme (Doğrusal Regresyon, Ridge ve Lasso Regresyon, Destek Vektör Regresyonu, Karar Ağaçları, Rastgele Orman, Destek Vektör Makineleri, K-En Yakın Komşu), Denetimsiz Öğrenme (K-Ortalamalar ve Hiyerarşik Kümeleme), Pekiştirmeli Öğrenme (Q-Öğrenme ve Derin Q-Ağları), Derin Öğrenme (Yapay Sinir Ağları) ve Hibrit Modeller (Genetik Algoritma + Yapay Sinir Ağları, Parçacık Sürü Optimizasyonu + Destek Vektör Makineleri, AdaBoost / XGBoost, Bulanık Mantık + Yapay Sinir Ağları, Uyarlamalı Bulanık Çıkarım Sistemi, Parçacık Sürü Optimizasyonu + Yapay Sinir Ağları)) kullanılmaktadır. Bu bağlamda çalışmada beton basınç dayanımını tahmin etmek için literatürde sıklıkla kullanılan ampirik formüller ve ML modelleri irdelenmiştir. Çalışmanın sonucunda, ampirik formüllerin geleneksel betonlar için kullanışlı olduğu, ML modellerinin ise tam anlamıyla kullanılabilmesi için geniş veri setlerine, güçlü modelleme tekniklerine ve bu modellerin saha koşullarına uyarlanması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: Beton, Basınç dayanımı, Ampirik formül, Makine öğrenme modelleri (ML).

ABSTRACT

The highest strength value demonstrated by concrete under compression is defined as the compressive strength of concrete. Compressive strength is one of the most critical parameters for structural safety. Therefore, both project planning and on-site applications are carried out based on the target compressive strength of the concrete. However, although concrete production aims to achieve a homogeneous structure, concrete is generally a heterogeneous composite material. This heterogeneity negatively affects the compressive strength of the concrete. In light of this information, studies aiming to accurately predict the compressive strength of concrete have become a focal point of interest for researchers. In the literature, different empirical formulas (Abram's Law, Bolomey's Formula, Feret's Formula, the Formula Specified in DIN 1045 Standard, Neville Formula, and Powers and Brownyard Theorem) and machine learning (ML) models ((Supervised Learning (Linear Regression, Ridge ve Lasso Regresyon, Support Vector Regression, Decision Trees, Random Forest, Support Vector Machines, K-Nearest Neighbors), Unsupervised Learning (K-Means, and Hierarchical Clustering), Reinforcement Learning (Q-Learning, and Deep Q-Networks), Deep Learning (Artificial Neural Networks), and Hybrid Models (Genetic Algorithm + Artificial Neural Networks, Particle Swarm Optimization + Support Vector Machines, AdaBoost / XGBoost, Fuzzy Logic + Artificial Neural Networks, Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System, Particle Swarm Optimization + Artificial Neural Networks)) have been employed for various types of concrete. Within this context, the study examines empirical formulas and ML models commonly utilized in the literature to predict the compressive strength of concrete. The findings indicate that while empirical formulas are practical for conventional concrete, the effective implementation of ML models requires extensive datasets, robust modeling techniques, and adaptation of these models to field conditions.

Keywords: Concrete, Compressive strength, Empirical formula, Machine Learning Models (ML)

GİRİŞ

Beton, inşaat sektöründe en çok kullanılan yapı malzemesidir [1]. Kolay temin edilebilen malzemelerden üretildiği için ekonomiktir [2]. Dayanım ve dayanıklılık performansı sayesinde inşaat sektörü için vazgeçilmezdir. Beton; ekonomiklik, dayanım ve dayanıklılık gibi temel özelliklerinin yanı sıra, üretim kolaylığı, işlenebilirlik, düşük bakım maliyetleri ve geniş kullanım alanları gibi çeşitli avantajları nedeniyle birçok projede geniş kullanım alanına sahiptir [3]. Bunun yanında beton heterojen yapıya sahiptir. Uygulamalar betonun mümkün olduğunca homojenleştirilmesine yöneliktir. Ancak beton bileşenleri (çimento, kimyasal katkı, agrega vb.), üretim koşulları (süre, işçilik vb.), kür süreçleri (süre, miktar, yöntem vb.) ve çevre faktörleri (iklim, bölge, sıcaklık, nem, don vb.) gibi parametrelerin farklılık göstermesi betonun uygulamada tam olarak homojenleştirilememesine neden olmaktadır.

Özellikle beton bünyesindeki mikro boşluklar ve kılcal çatlaklarda heterojen yapının başlıca sebepleri arasındadır [4].

Laboratuvar ortamındaki beton numuneler ile uygulama sahasından alınan numuneler arasında sapmalar söz konusudur. Bu yüzden betonun karakteristik basınç dayanımı (f_{ck}), 1,5 katsayısına bölünerek, betonun hesap basınç dayanımı (f_{cd}) belirlenir [5] (Denklem 1).

$$f_{cd} = f_{ck}/1{,}5 \quad [1]$$

Sonuç olarak statik hesaplamalarda; betonun hesap dayanımı, karakteristik dayanımının 1,5 kat azaltılmış değeri olarak kabul edilir. Ayrıca beton basınç dayanımı için 28 günlük süre referans alınmasına rağmen, beton basınç dayanımının zamanla artacağı kesin ve sürecin ne kadar devam edeceği belirsizdir [6]. Bununla birlikte tabliye betonu gibi saha uygulamalarında, kalıpların ne zaman sökületeceği kritik öneme sahiptir. Çünkü bu alanlarda forklift gibi iş makinalarının yanında personellerin de çalışabilmesi için güvenli bir ortamın sağlanması gerekmektedir. Bu yüzden, tabliye betonu, saha betonu, yol betonu vb. alanlarda betonun istenen dayanıma ne zaman ulaşacağını bilmek, güvenlik ve iş programlarının sağlıklı bir şekilde ilerleyebilmesi açısından oldukça faydalıdır. Beton için belirtilen bu belirsizliklerin uygulamada göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu nedenle, beton basınç dayanımının pratik ve güvenilir bir şekilde tanımlanması, tahmin edilmesi ve iyileştirilmesine odaklanan araştırmalar önemli bir çalışma alanı haline gelmiştir [7–12]. Literatürde görüldüğü üzere, mekanik deneyler yapmadan betonun basınç dayanımını tahmin etmeye yönelik artan bir ilgi vardır [13–17].

Günümüzde beton basınç dayanımını tahmin etmek için farklı ampirik ve analitik tahmin yöntemlerinin yanında makine öğrenme (ML) yöntemleri de kullanılmaktadır. Bu bağlamda, çalışmada basınç dayanımı tahmini ile ilgili olarak litertürde kullanılan bazı önemli formüller ve ML yöntemleri ile ilgili bilgiler verilmiştir.

ARAŞTIRMA BULGULARI

Ampirik Formüller

Literatürde betonun basınç dayanımını tahmin etmek için çeşitli formülller kullanılmaktadır.

Abram Yasası

Abram's yasası, beton basınç dayanımını su/çimento oranı ilişkisine göre tahmin eder [18]. Yasanın temel prensibi beton basınç dayanımının su/çimento oranı ile ters orantılı olduğudur. Buna göre su/çimento oranı azaldıkça betonun basınç dayanımı artar (Denklem 2).

$$f_c = \frac{A}{B^{(W/C)}} \quad [2]$$

Burada; f_c betonun basınç dayanımını, W/C su çimento oranını, A ve B sabitleri ise beton bileşenleri ve deneysel verilere bağlı değişkenleri ifade etmektedir. Formül normal beton ve yüksek dayanımlı betonların basınç dayanımlarını tahmin etmek için uygundur.

Bolomey Formulü

Bolomey formulü, betonun basınç dayanımını su/çimento oranı ve çimento dozajı parametrelerine göre tahmin eder [19]. Ayrıca tasarım aşamasında, su/çimento oranı ve çimento miktarını optimize etmek için de kullanılır. Yasaya göre su/çimento oranının azalması ve çimento dozajının artması ile beton basınç dayanımı artar (Denklem 3).

$$f_c = K_1 \cdot \frac{1}{\left(\frac{W}{C}\right)-K_2} \quad [3]$$

Burada; f_c betonun basınç dayanımını, W su miktarını, C çimento dozajını, K_1 beton bileşimine ve hidratasyona bağlı katsayıyı ve K_2 ise formül için belirlenen sabit sayıyı ifade etmektedir. Bolomey formülü, su, çimento, agrega vb. malzemelerin türüne ve özelliklerine bağlı olarak değişiklik gösterebileceğinden, her durumda aynı sonucu vermeyebilir. Bu yüzden düşük dayanımlı betonlar için daha kullanışlı bir formüldür [20].

Feret Formulü

Feret formülünde, beton basınç dayanımını tahmin etmek için malzemelerin hacimsel oranları (Su/Çimento, Agrega/Çimento ve Hava/Çimento) parametre olarak kullanır [21]. Bu formül sayesinde beton karışım oranlarının beton basınç dayanımı üzerindeki etkisi hakkında bilgi sahibi olunur. Ancak süperakışkanlaştırıcı katkı kullanılarak üretilen betonlar için sonuçlar farklılık gösterebilir (Denklem 4) [22].

$$f_c = \left(\frac{K}{W/C+A/C+S/C}\right) \quad [4]$$

Burada; $f_c(t)$ betonun basınç dayanımını, K sembolü deneysel olarak belirlenen sabit sayıyı, W/C ifadesi su-çimento oranını, A/C ifadesi agrega-çimento oranını ve S/C ifadesi ise hava-çimento oranını ifade etmektedir. Formül normal beton ve yüksek dayanımlı betonların basınç dayanımlarını tahmin etmek için uygundur [23].

DIN 1045 Standardında Belirtilen Formül

DIN 1045 standardı Almanya'da beton ve beton ürünlerinin tasarım ve imalatında kullanılan önemli bir standarttır [24]. Bu standart beton basınç dayanımını tahmin etmek için, beton karışım oranları üzerinden formül önermiştir (Denklem 5).

$$f_c = A \cdot \frac{1}{(W/C)^B} \quad [5]$$

Burada; f_c betonun basınç dayanımını, W/C ifadesi su-çimento oranını, A ve B ifadeleri ise beton bileşimine ve çevresel faktörlere göre belirlenen sabit sayıyı ifade etmektedir. Formül normal beton ve yüksek dayanımlı betonların basınç dayanımlarını tahmin etmek için uygundur [25].

Neville Formülü

Neville, betonun kür süresi boyunca dayanım kazandığını, özellikle 28 günlük kür süresinden sonra basınç dayanımının nihai değere yaklaşacağını ve bu süreden sonra dayanım kazanmanın yavaşlayacağını formülüze etmiştir (Denklem 6) [26].

$$f_c(t) = f_c \cdot \left(\frac{\log(t)}{\log(28)}\right) \quad [6]$$

Burada; $f_c(t)$ betonun t günüdeki basınç dayanımını, f_c betonun 28 günlük basınç dayanımını, t gün sayısını ifade etmektedir. Formül normal beton ve yüksek dayanımlı betonların basınç dayanımlarını tahmin etmek için uygundur [27].

Powers ve Brownyard Teoremi

Powers ve Brownyard, betonun basınç dayanımını çimento tanelerinin su ile reaksiyona girerek oluşturduğu hidratasyon ısısı ile ilişkilendirmişlerdir [28]. Hidratasyon ısısının artmasıyla beton basınç dayanımının da artacağını fomülüze etmişlerdir. Formül, hidratasyon ısısı ile beton basınç dayanımı arasındaki ilişkiyi mikroyapısal olarak anlamlandırır. Dolayısıyla formül genellikle mikroyapı analizlerinde kullanıma uygundur (Denklem 7) [29].

$$f_c = \mathrm{A}.(1-\mathrm{q})^n \quad [7]$$

Burada; f_c betonun 28 günlük basınç dayanımını, A çimento özelliğine ve hidratasyon ısısına bağlı sabit sayıyı, q kapiler boşluk oranını ve n sembolü ise 3-4 rakamları arasında değişen sabit sayıyı ifade etmektedir.

ML Modelleri

Beton basınç dayanımını tahmin etmek için kullanılan ML modelleri, denetimli öğrenme (Supervised Learning) [30–35], denetimsiz öğrenme (Unsupervised Learning) [36,37], pekiştirmeli öğrenme (Reinforcement Learning) [38], derin öğrenme (Deep Learning) [39,40] ve hibrit modeller [41,42] olarak sınıflandırılmaktadır.

Denetimli Öğrenme Modelleri

- Linear Regression: Özellikle geleneksel betonların basınç dayanımını tahmin etmek için kullanılır [43].
- Ridge ve Lasso Regresyon: Çoklu doğrusal regresyonda aşırı öğrenmeyi önler [8].
- Support Vector Regression: Verilerin doğrusal olmayan ilişkilerini modeller [32].
- Decision Trees: Verileri dallara ayırarak sınıflandırma yapar [40].
- Random Forest: Birden fazla decision tree'yi birleştirerek güçlü sınıflandırma yapar [32].
- Support Vector Machines: Çok sınıflı veri kümeleri için sınıflandırma yapar [35].
- K-Nearest Neighbors: Yeni verinin sınıfını en yakın komşulara bakarak belirler [32].

Denetimsiz Öğrenme Modelleri

- K-Means: Veriyi belirli sayıda küme içine gruplar [37].
- Hierarchical Clustering: Veriyi alt gruplara bölerek bir düzen oluşturur [44].

Pekiştirmeli Öğrenme Modelleri

- Q-Learning: Optimizasyon ve tablo tabanlı bir algoritmadır [38].
- Deep Q-Networks: Q-Learning'in derin öğrenmeli versiyonudur [45].

Derin Öğrenme Modelleri

- Artificial Neural Networks: Çok katmanlı verilerin giriş ve çıkışları arasındaki karmaşık ilişkileri modeller [46].

Hibrit Modeller

- Genetic Algorithm + Artificial Neural Networks: Beton karışım bileşenlerinin doğrusal olmayan ilişkilerini modeller [47].
- Particle Swarm Optimization + Support Vector Machines: Karmaşık beton karışımlarında daha hızlı modelleme sağlar [48].
- AdaBoost / XGBoost: Hassas tahmin modelleri oluşturur [49].
- Fuzzy Logic + Artificial Neural Networks: Beton parametrelerindeki belirsizlikleri modeller ve dayanım tahmin eder [50].
- Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System: Doğrusal olmayan beton ilişkilerini modeller [15].
- Particle Swarm Optimization + Artificial Neural Networks: Daha doğru beton dayanımı tahmin eder [51].

SONUÇ

Beton basınç dayanımının gün bazında nasıl değiştiği ve nihai dayanımının ne kadar olacağının bilinmesi, inşaat mühendisliği açısından çok önemlidir. Bu yüzden hedef beton basınç dayanımı çerçevesinde malzeme optimizasyonu yapılarak, ekonomiklik ve çevre dostu sürdürülebilirliğe katkı sağlanmış olunur.

Beton basınç dayanımının tahmin edilmesine yönelik olarak yapılan çalışmalarda, betonun performans özelliklerini etkileyen parametrelerin faktörlerin ve ilişkilerin (malzeme, kür, çevre, gün sayısı, test cihazı ve yöntemi) anlaşılması oldukça önemlidir. Bu yüzden, ampirik ve analitik tahmin yöntemleri ile yapılan tahminlerde gerçek sonuç tam olarak elde edilememektedir.

Bunun yanında gelişen teknoloji ile birlikte ML tahmin modelleri ile yüksek doğrulukta tahminler yapılabilmektedir. Ancak beton parametrelerinin ve basınç dayanımı sonuçlarının

yorumlanmasındaki belirsizlikler ve zorluklar halen çözüm bekleyen sorunların başında gelmektedir. Ayrıca beton basınç dayanımı tahmininin, zaman modelleme tekniklerine uygun olarak geliştirilmesi kaçınılmazdır.

Sonuç olarak ML modellerinin pratik test yöntemlerinin yerini tam anlamıyla alabilmesi için geniş veri setlerine, güçlü modelleme tekniklerine ve bu modellerin saha koşullarına uyarlanmasına ihtiyacın olduğu unutulmamalıdır.

KAYNAKLAR

[1] A.F. Şenol, 3 rd International Conference on Engineering , Natural and Social Sciences, in: Yeni Nesil Bet. Teknol. Son Trendler, 2024: pp. 623–629.

[2] A.T.M. Marsh, A.P.M. Velenturf, S.A. Bernal, Circular Economy strategies for concrete: implementation and integration, J. Clean. Prod. 362 (2022) 132486. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132486.

[3] D. Demirarslan, S. Demirarslan, Mimarlikta ince yapi temel kavramlar ve ilkeler, 2023. https://doi.org/10.5281/zenodo.10161584.

[4] M. Khan, M. Cao, X. Chaopeng, M. Ali, Experimental and analytical study of hybrid fiber reinforced concrete prepared with basalt fiber under high temperature, Fire Mater. 46 (2022) 205–226. https://doi.org/10.1002/fam.2968.

[5] TS-500, Requirements for design and construction of reinforced concrete structures [Betonarme Yapilarin Tasarim Ve Yapim Kurallari], Türk Stand. Enstitüsü, Ankara. (2000) 12–70.

[6] J. Zheng, G. Liu, The influence and application of slag, fly ash, and limestone flour on compressive strength of concrete based on the concrete compressive strength development over time (CCSDOT) model, Appl. Sci. 10 (2020). https://doi.org/10.3390/app10103572.

[7] I. Afshoon, M. Miri, S.R. Mousavi, Using the Response Surface Method and Artificial Neural Network to Estimate the Compressive Strength of Environmentally Friendly Concretes Containing Fine Copper Slag Aggregates, Iran. J. Sci. Technol. - Trans. Civ. Eng. 47 (2023) 3415–3429. https://doi.org/10.1007/s40996-023-01152-4.

[8] M. Hematibahar, M. Kharun, A.N. Beskopylny, S.A. Stel'makh, E.M. Shcherban', I. Razveeva, Analysis of Models to Predict Mechanical Properties of High-Performance and Ultra-High-Performance Concrete Using Machine Learning, J. Compos. Sci. 8 (2024). https://doi.org/10.3390/jcs8080287.

[9] Y. Wang, A. Iqtidar, M.N. Amin, S. Nazar, A.M. Hassan, M. Ali, Predictive modelling of compressive strength of fly ash and ground granulated blast furnace slag based geopolymer concrete using machine learning techniques, Case Stud. Constr. Mater. 20 (2024) e03130. https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e03130.

[10] M. Saridemir, I.B. Topçu, F. Özcan, M.H. Severcan, Prediction of long-term effects of

GGBFS on compressive strength of concrete by artificial neural networks and fuzzy logic, Constr. Build. Mater. 23 (2009) 1279–1286. https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2008.07.021.

[11] Q. feng Liu, M.F. Iqbal, J. Yang, X. yang Lu, P. Zhang, M. Rauf, Prediction of chloride diffusivity in concrete using artificial neural network: Modelling and performance evaluation, Constr. Build. Mater. 268 (2021) 121082. https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2020.121082.

[12] L. Bu, G. Du, Q. Hou, Prediction of the compressive strength of recycled aggregate concrete based on artificial neural network, Materials (Basel). 14 (2021). https://doi.org/10.3390/ma14143921.

[13] M. Liang, Z. Chang, Z. Wan, Y. Gan, E. Schlangen, B. Šavija, Interpretable Ensemble-Machine-Learning models for predicting creep behavior of concrete, Cem. Concr. Compos. 125 (2022) 104295. https://doi.org/10.1016/J.CEMCONCOMP.2021.104295.

[14] W. Lan, Accurate compressive strength prediction using machine learning algorithms and optimization techniques, J. Eng. Appl. Sci. 71 (2024) 1–20. https://doi.org/10.1186/s44147-023-00326-1.

[15] M. Shariati, M.S. Mafipour, B. Ghahremani, F. Azarhomayun, M. Ahmadi, N.T. Trung, A. Shariati, A novel hybrid extreme learning machine–grey wolf optimizer (ELM-GWO) model to predict compressive strength of concrete with partial replacements for cement, Eng. Comput. 38 (2022) 757–779. https://doi.org/10.1007/s00366-020-01081-0.

[16] G. Liu, B. Sun, Concrete compressive strength prediction using an explainable boosting machine model, Case Stud. Constr. Mater. 18 (2023) e01845. https://doi.org/10.1016/J.CSCM.2023.E01845.

[17] H.V.T. Mai, M.H. Nguyen, S.H. Trinh, H.B. Ly, Toward improved prediction of recycled brick aggregate concrete compressive strength by designing ensemble machine learning models, Constr. Build. Mater. 369 (2023) 130613. https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2023.130613.

[18] A. Mondal, S. Bhanja, Augmentation of Abrams law for fly ash concrete, Mater. Today Proc. 65 (2022) 644–650. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.03.204.

[19] P. Jagadesh, A. Ramachandramurthy, P. Rajasulochana, M.A. Hasan, R. Murugesan, A.H. Khan, H.M. Magbool, N.A. Khan, Effect of processed sugarcane bagasse ash on compressive strength of blended mortar and assessments using statistical modelling, Case Stud. Constr. Mater. 19 (2023) e02435. https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02435.

[20] D. Kayentao, M. Tamboura, A.P. Diarra, M.F. Traore, A. Coulibaly, A.S. Toure, M.L.O. Diawara, K. Daou, Modified Concrete Using Polyethylene Terephthalate Plastic Waste as a Partial Replacement for Coarse Aggregate, Open J. Appl. Sci. 13 (2023) 896–909. https://doi.org/10.4236/ojapps.2023.136072.

[21] M. Meera, S. Gupta, Development of a strength model for foam concrete based on water – Cement ratio, Mater. Today Proc. 32 (2020) 923–927. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.888.

[22] M. Kekanović, E. Kekanović, A new procedure of concrete mixture designing, Teh. Vjesn. 27 (2020) 597–603. https://doi.org/10.17559/TV-20180220101520.

[23] R. Biswas, B. Rai, P. Samui, Compressive strength prediction model of high-strength concrete with silica fume by destructive and non-destructive technique, Innov. Infrastruct. Solut. 6 (2021) 1–14. https://doi.org/10.1007/s41062-020-00447-z.

[24] D. Norm, Din 1045, (2008) 1–183.

[25] L.M. Mauludin, R. Permana, U. Ruslan, A. Zulpanani, L. Fauziah, S.M. Nurhayati, M.G. Savira, Enhancing Performance of High-Strength Concrete Using Bacillus Megaterium As Self-Healing Agent, Int. J. GEOMATE. 26 (2024) 68–75. https://doi.org/10.21660/2024.114.4290.

[26] M.C. Kanyithia, Case Study of Nairobi City County, (2020).

[27] Y. Cui, L. Wang, J. Liu, R. Liu, B. Pang, Impact of particle size of fly ash on the early compressive strength of concrete: Experimental investigation and modelling, Constr. Build. Mater. 323 (2022) 126444. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126444.

[28] M.N. eddine Hamdadou, F. Bignonnet, W. Deboucha, H. Ranaivomanana, N. Leklou, K. Arroudj, Hydration, mechanical and transfer properties of blended cement pastes and mortars prepared with recycled powder or limestone filler, J. Build. Eng. 78 (2023) 107541. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.107541.

[29] M. Nithurshan, Y. Elakneswaran, A systematic review and assessment of concrete strength prediction models, Case Stud. Constr. Mater. 18 (2023) e01830. https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e01830.

[30] F. Khademi, M. Akbari, S.M. Jamal, M. Nikoo, Multiple linear regression, artificial neural network, and fuzzy logic prediction of 28 days compressive strength of concrete, Front. Struct. Civ. Eng. 11 (2017) 90–99. https://doi.org/10.1007/s11709-016-0363-9.

[31] M.C. Kang, D.Y. Yoo, R. Gupta, Machine learning-based prediction for compressive and flexural strengths of steel fiber-reinforced concrete, Constr. Build. Mater. 266 (2021) 121117. https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2020.121117.

[32] X. Zhang, C. Dai, W. Li, Y. Chen, Prediction of compressive strength of recycled aggregate concrete using machine learning and Bayesian optimization methods, Front. Earth Sci. 11 (2023) 1–16. https://doi.org/10.3389/feart.2023.1112105.

[33] H.I. Erdal, Two-level and hybrid ensembles of decision trees for high performance concrete compressive strength prediction, Eng. Appl. Artif. Intell. 26 (2013) 1689–1697. https://doi.org/10.1016/J.ENGAPPAI.2013.03.014.

[34] J. de-Prado-Gil, C. Palencia, N. Silva-Monteiro, R. Martínez-García, To predict the compressive strength of self compacting concrete with recycled aggregates utilizing ensemble machine learning models, Case Stud. Constr. Mater. 16 (2022) e01046.

https://doi.org/10.1016/J.CSCM.2022.E01046.

[35] Y. Zhou, Y. Zhang, R. Pang, B. Xu, Seismic fragility analysis of high concrete faced rockfill dams based on plastic failure with support vector machine, Soil Dyn. Earthq. Eng. 144 (2021) 106587. https://doi.org/10.1016/J.SOILDYN.2021.106587.

[36] A. Okamoto, Y. Ogasawara, Y. Ogawa, N. Tsuchiya, Progress of hydration reactions in olivine–H2O and orthopyroxenite–H2O systems at 250 °C and vapor-saturated pressure, Chem. Geol. 289 (2011) 245–255. https://doi.org/10.1016/J.CHEMGEO.2011.08.007.

[37] K. Saplıoğlu, R. Acar, K-Means Kümeleme Algoritması Kullanılarak Oluşturulan Yapay Zekâ Modelleri ile Sediment Taşınımının Tespiti, Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilim. Derg. 9 (2020) 306–322. https://doi.org/10.17798/bitlisfen.558113.

[38] J. Liu, P. Liu, L. Feng, W. Wu, D. Li, F. Chen, Towards automated clash resolution of reinforcing steel design in reinforced concrete frames via Q-learning and building information modeling, Autom. Constr. 112 (2020) 103062. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.103062.

[39] R. Acar, K. Saplıoğlu, Akarsulardaki Sediment Taşiniminin YapaSinir Ağlari Ve AnfisYöntemleri KullanilaraTespiti, Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilim. Derg. 9 (2020) 437–450. https://doi.org/10.28948/ngumuh.681208.

[40] K. Güçlüer, A. Özbeyaz, S. Göymen, O. Günaydın, A comparative investigation using machine learning methods for concrete compressive strength estimation, Mater. Today Commun. 27 (2021) 102278. https://doi.org/10.1016/J.MTCOMM.2021.102278.

[41] A. Nazari, J.G. Sanjayan, Modelling of compressive strength of geopolymer paste, mortar and concrete by optimized support vector machine, Ceram. Int. 41 (2015) 12164–12177. https://doi.org/10.1016/J.CERAMINT.2015.06.037.

[42] Z. Pei, Y. Wei, Prediction of the bond strength of FRP-to-concrete under direct tension by ACO-based ANFIS approach, Compos. Struct. 282 (2022) 115070. https://doi.org/10.1016/J.COMPSTRUCT.2021.115070.

[43] C. Lin, Y. Sun, W. Jiao, J. Zheng, Z. Li, S. Zhang, Prediction of Compressive Strength and Elastic Modulus for Recycled Aggregate Concrete Based on AutoGluon, Sustain. 15 (2023) 1–40. https://doi.org/10.3390/su151612345.

[44] T. Chang, G. Tian, Hybrid A-Star Path Planning Method Based on Hierarchical Clustering and Trichotomy, Appl. Sci. 14 (2024). https://doi.org/10.3390/app14135582.

[45] Y. Du, J. qing Li, A deep reinforcement learning based algorithm for a distributed precast concrete production scheduling, Int. J. Prod. Econ. 268 (2024). https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2023.109102.

[46] S. Ray, M. Haque, T. Ahmed, T.T. Nahin, Comparison of artificial neural network (ANN) and response surface methodology (RSM) in predicting the compressive and splitting tensile strength of concrete prepared with glass waste and tin (Sn) can fiber, J. King Saud Univ. - Eng. Sci. 35 (2023) 185–199.

https://doi.org/10.1016/J.JKSUES.2021.03.006.

[47] S. Akkurt, S. Ozdemir, G. Tayfur, B. Akyol, The use of GA–ANNs in the modelling of compressive strength of cement mortar, Cem. Concr. Res. 33 (2003) 973–979. https://doi.org/10.1016/S0008-8846(03)00006-1.

[48] W. Jiang, Y. Xie, W. Li, J. Wu, G. Long, Prediction of the splitting tensile strength of the bonding interface by combining the support vector machine with the particle swarm optimization algorithm, Eng. Struct. 230 (2021) 111696. https://doi.org/10.1016/J.ENGSTRUCT.2020.111696.

[49] P. Huang, K. Dai, X. Yu, Machine learning approach for investigating compressive strength of self-compacting concrete containing supplementary cementitious materials and recycled aggregate, J. Build. Eng. 79 (2023) 107904. https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2023.107904.

[50] N.T.M. Lam, D.L. Nguyen, D.H. Le, Predicting compressive strength of roller-compacted concrete pavement containing steel slag aggregate and fly ash, Int. J. Pavement Eng. 23 (2022) 731–744. https://doi.org/10.1080/10298436.2020.1766688.

[51] Y. Chakali, A.H. Sadok, M. Tahlaiti, T. Nacer, A PSO-ANN Intelligent Hybrid Model to Predict the Compressive Strength of Limestone Fillers Roller Compacted Concrete (RCC) to Build Dams, KSCE J. Civ. Eng. 25 (2021) 3008–3018. https://doi.org/10.1007/s12205-021-1531-6.

THE MINIMUM SOLAR RADIATION CRITERION FOR THE PERFORMANCE OF PHOTOVOLTAIC SYSTEMS IN MOUNTAINOUS AREAS: THE CASE OF LLOGARA, VLORË, ALBANIA

Fjorela Verore
Department of Physics, Faculty of Natural Sciences, Vlora University, Albania

Valbona Muda
Department of Engineering Physics, Faculty of Engineering Mathematics and Engineering Physics, Polytechnic University of Tirana, Tirana, Albania.

Driada Mitrushi
Department of Engineering Physics, Faculty of Engineering Mathematics and Engineering Physics, Polytechnic University of Tirana, Tirana, Albania.

Miranda Halili
Department of Engineering, Faculty of Natural Sciences, Vlora University, Albania

ABSTRACT

Albania is located in mid-latitude, specifically between 38° and 42° northern latitude. Its Mediterranean climate is characterized by sunny summers and long daylight hours, ensuring considerable solar radiation. Albania is a favorable location for harnessing solar energy, particularly in the southern and coastal regions, where solar exposure is higher throughout the year. This paper examines the importance of the minimum solar radiation criterion for photovoltaic (PV) systems in mountainous areas, with a particular focus on Llogara, Vlorë. Using climate data and simulations with software such as PVWatt and PVGIS, radiation parameters and their impact on the technical and economic performance of PV systems were analyzed. The results indicate an average annual radiation of 4.5–5.5 kWh/m²/day, exceeding the minimum threshold of 3.5 kWh/m²/day required for efficiency. A 10 kWp PV system in this area generates an average of 14,800 kWh of energy per year, with a specific efficiency of 1,480 kWh/kWp. Factors such as altitude above sea level, geographical orientation, and climatic conditions make Llogara an ideal location for photovoltaic investments. However, challenges such as shading and seasonality require additional measures, including battery storage and configuration optimization. This article contributes to the existing literature on PV systems and serves as a guide for designers and policymakers to promote solar energy in similar areas. The results strongly align with initial expectations, confirming that Llogara offers favorable conditions for PV systems with stable and efficient performance.

Keywords: Renewable energy, PV systems, PVWatt, PVGIS, GH.

Introduction

Renewable energy has become a shared priority for all countries through the implementation of a joint energy strategy. Photovoltaic panels are one of the most promising technologies for generating electricity from solar sources. Determining the minimum solar radiation criterion is a key factor for the successful construction of such a system, which ensures both technical efficiency and economic cost-effectiveness.

Solar radiation is the energy of light emitted by the sun that reaches the Earth. It is measured based on the amount of sunlight that strikes one square meter of a surface within one second. The terms *radiation*, *irradiance*, and *solar irradiation* are often used interchangeably. However, it can be said that *radiation* refers to the number of photons emitted from a single source. *Irradiance* is the radiation that falls on a surface, and *solar irradiation* is the process by which solar panels are exposed to radiation and moving particles (photons emitted by the sun), leading to ionization.

To distinguish between them, one can simply look at the measurement units. **Irradiance** is the power of solar radiation per unit area and is measured in **W/m²** (watts per square meter). **Solar irradiation** measures the energy per unit area of solar radiation falling on a surface – the power received over a period of time. It is measured in **Wh/m²** (watt-hours per square meter). So, while irradiance measures power per area, solar irradiation measures power per area over a period of time (e.g., one hour).

The factors that influence solar radiation include geographic latitude, time of day and season, atmospheric conditions (clouds, pollution, humidity), the angle of incidence of solar rays, and elevation above sea level. These factors must be considered when designing a PV system to ensure maximum solar energy efficiency. The Earth is tilted at an angle of 23.5° and orbits the Sun in an elliptical path, which means that at certain times of the year, it is closer or farther from the Sun (depending on its position in the ellipse). This means the Sun radiates more in some areas of the Earth than others, depending on location and season.

As the Earth rotates, sunlight hits the surface at different angles, ranging from 0° (near the horizon) to 90° (directly overhead). The more perpendicular the light source is to a surface, the more radiation it receives. Therefore, solar panels receive more light and heat at noon than morning.

The more slanted the sun's rays are, the longer they travel through the atmosphere, becoming scattered and more diffuse.

In international literature, many studies have been conducted on the importance of solar radiation in the performance of photovoltaic systems. These studies emphasize that solar radiation is the primary factor influencing energy production from photovoltaic panels, including not only the intensity of sunlight but also its quality and how it is converted into electrical energy. Many studies have analyzed the relationship between direct and diffuse

radiation and PV system efficiency, considering factors such as panel tilt, solar tracking, and possible shading. Another important aspect is the natural variability of radiation during different times of the year and across different geographic locations.

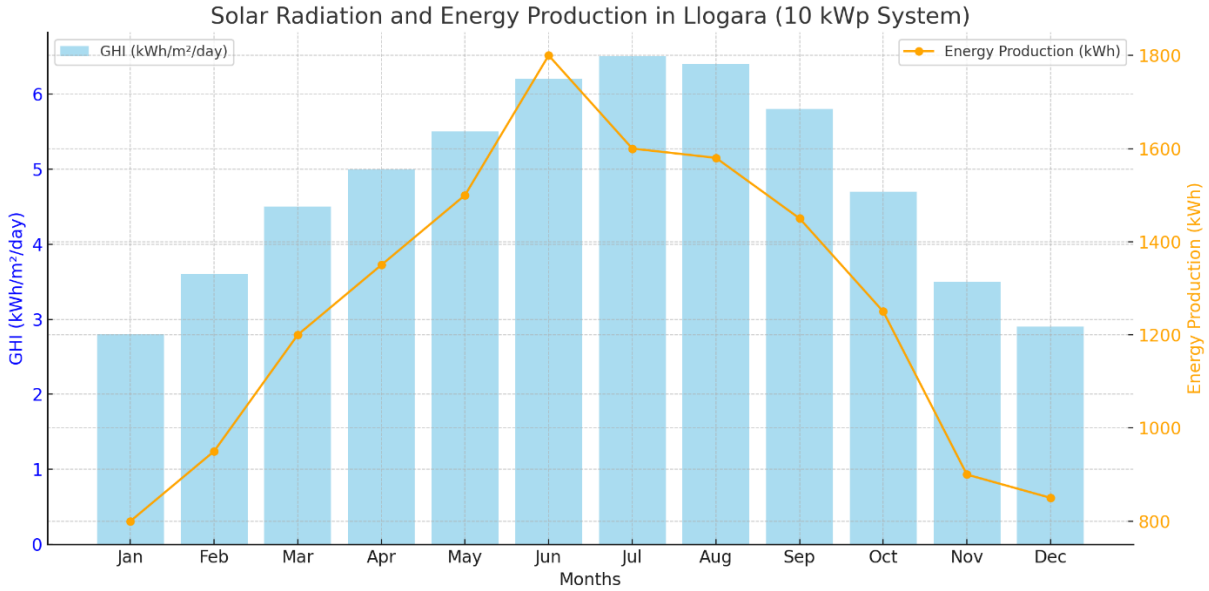
This variability directly affects the amount of energy that can be generated, making these systems sensitive to climatic and geographic conditions. For example, regions with more direct radiation tend to have higher performance in PV systems that are designed to take advantage of this type of radiation. These studies are important for the development and optimization of photovoltaic systems and for planning the use of solar energy on a wider scale, thus contributing to improved efficiency and sustainability of these systems under different climate conditions. This article focuses on the region of Albania and the study of mountainous areas. Albania is located at a mid-latitude, specifically between 38° and 42° north latitude. This places it in a Mediterranean climate zone, with sunny summers and long days, providing a significant amount of solar radiation, and shorter winters with less solar radiation due to the more slanted angle of the sun's rays. This makes Albania a favorable country for utilizing solar energy, especially in southern and coastal regions, where sun exposure is greater throughout the year.

This study focuses on the mountainous region of Vlora, specifically in **Llogara**, analyzing solar radiation parameters and their impact on the performance of photovoltaic systems. The main goal is to determine whether this area meets the conditions for a successful investment in solar energy.

Study Methods and Results

To analyze the solar potential of the Llogara area with geographic coordinates **40.210, 19.580**, data were used from reliable sources such as **PVGIS**, **PVWATT**, and **NASA-Solar Data**. The methodological process from the PVGIS simulation included:

1. **Collection of climate data:**
    - **Global Horizontal Irradiance (GHI):** Total radiation on a horizontal surface.
    - **Direct Normal Irradiance (DNI):** Radiation coming directly from the sun.
2. **Technological parameters analyzed:**
    - **Installed capacity:** 10 kWp.
    - **Panel type:** Monocrystalline with 20% efficiency.
    - **Tilt and orientation:** 30° facing south.
3. **Software and tools:**
    - Simulation was performed using **PVsyst**, including factors such as **shading** and **electrical losses** (14%).



Graph 1. Solar Radiation and Energy Production in Llogara

The graph shows the average daily Global Horizontal Irradiance (GHI) and the monthly energy production of a 10 kWp photovoltaic system in Llogara. The horizontal axis represents the months from January to December. The left vertical axis represents energy production in kWh (from 800 to 1800 kWh). The right vertical axis shows solar radiation (GHI) in kWh/m²/day (from 0 to 6). The blue bars represent solar radiation (GHI), while the orange line graph represents monthly energy production.

Month	GHI (kWh/m²/day)	Energy Production (kWh)
January	2.8	800
February	3.6	950
March	4.5	1,200
April	5.0	1,350
May	5.5	1,500
June	6.2	1,800
July	6.5	1,600
August	6.4	1,580
September	5.8	1,450
October	4.7	1,250
November	3.5	900
December	2.9	850

Table 1.

Table 1 shows the relationship between energy production from a 10 kWp solar system and global horizontal irradiance (GHI) throughout the months of the year.

The average annual radiation in the Llogara area ranges from **4.5 to 5.5 kWh/m²/day**, with **maximum values in July and August (6.5 kWh/m²/day)** and **minimum values in December and January (2.5–3.0 kWh/m²/day)**.

The elevation above sea level (800–1000 m) improves radiation quality due to cleaner air and reduced fog. A **10 kWp PV system in Llogara produces an average of 14,800 kWh of energy per year**. The **most productive months** are **July and August** (1,600 kWh/month), while **January and February** have the lowest production (800–950 kWh/month). The **specific efficiency**, **1,480 kWh/kWp**, means that over one year, a photovoltaic system rated at 1,480 kWh/kWp shows how much electricity is produced per kilowatt-peak (kWp) of installed capacity annually. **Solar radiation (GHI)** is higher (**4.5–6 kWh/m²/day**) during these months. **Energy production** also reaches its highest values during these months.

There is a clear positive correlation between **GHI and energy production**. When solar radiation increases, energy production also increases, and vice versa.

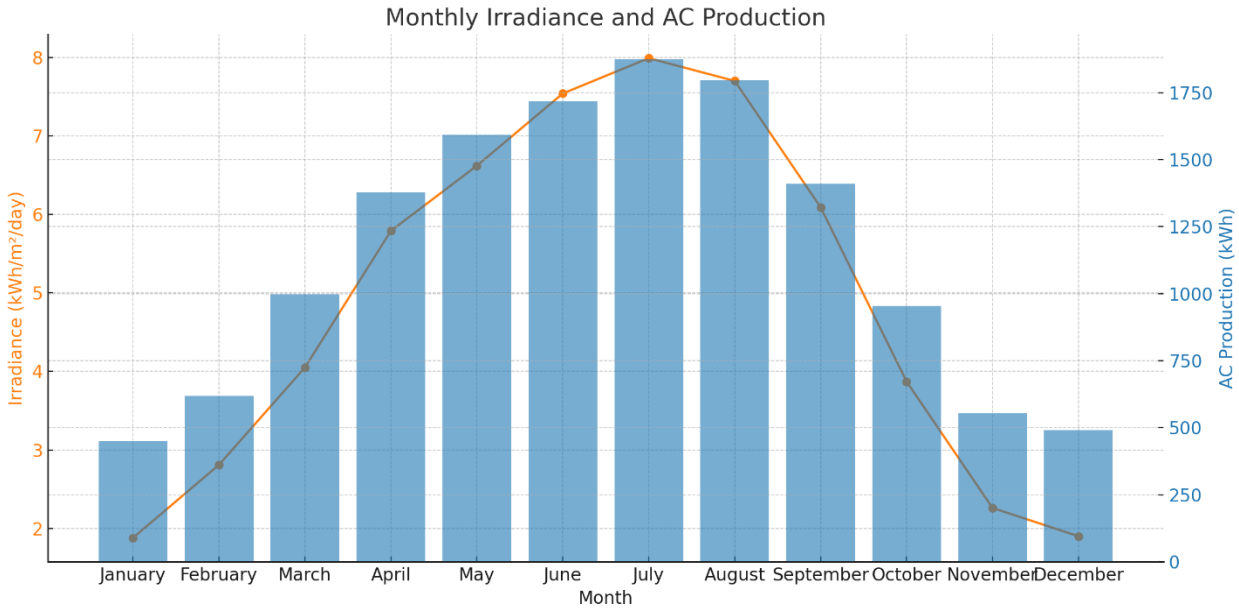
The methodological process from the PVWATT simulation included:

Parameter	Value
DC System Size	10 kW
Module Type	Standard
Array Type	Fixed (open rack)
System Losses	14%
Array Tilt	30°
Array Azimuth	180°
DC to AC Size Ratio	1.2
Inverter Efficiency	96%
Ground Coverage Ratio	0.4
Albedo	From weather file
Bifacial	No (0)

Month	Irradiance (kWh/m²/day)	AC Production (kWh)
January	1.88	450
February	2.81	618
March	4.05	997
April	5.79	1,378
May	6.62	1,592
June	7.54	1,717
July	7.99	1,874
August	7.70	1,796

September	6.09	1,409
October	3.87	954
November	2.26	554
December	1.90	492

Table 2: Monthly irradiance and AC production



Graph 2. Monthly irradiance and AC production

The **orange line** shows *Irradiance (kWh/m²/day)*. The **blue bars** show *AC Production (kWh)* for each month. The left vertical axis represents energy production in kWh. The right vertical axis shows solar radiation (GHI) in kWh/m²/day. The most productive months are July and August, with over 1,800 kWh energy produced monthly. These months also coincide with the highest solar radiation values, reaching 7.99 kWh/m²/day in July. The least productive months are December and January, with less than 500 kWh per month and solar radiation below 2 kWh/m²/day. The production follows a direct correlation with solar radiation – when radiation increases, energy production also increases. The specific efficiency is 1,382 kWh/kWp/year, which is slightly lower than that in the PVGIs results (1,480 kWh/kWp), but still very good for a mountainous place like Llogara.

Table 3. Comparison of Solar Radiation and Energy Production in Llogara (10 kWp PV System)

Aspect	Graph 1 (PVWatts Data)	Graph 2 (PVGIS Data)
Data Source	NREL PVWatts Calculator	Local Report on Llogara PV Potential
Annual Energy Production	~13,790 kWh (sum of AC values)	14,800 kWh (as stated in the report)
Peak Production	July (1,874 kWh)	June (1,800 kWh)
Lowest Production	December (447 kWh)	January (800 kWh)
Radiation Peak	July (7.99 kWh/m²/day)	July (6.5 kWh/m²/day)
Radiation Minimum	December (1.74 kWh/m²/day)	January (2.8 kWh/m²/day)

Both datasets show **higher irradiance and production in summer months (June–August)**. **Winter months** have the **lowest solar output** in both datasets. The **PVgis data shows slightly higher energy production** in the winter months (especially January and February) compared to PVWatt. A **7% difference**, which is acceptable considering variation in simulation models and local assumptions.

Conclusions And Recommendations

1. High energy potential: Llogara exceeds the minimum radiation criterion with annual average of 4.5–5.5 kWh/m²/day.
2. Stable performance: 10 kWp PV system can produce over 14,800 kWh/year, covering the energy needs of a household or small business.
3. Altitude and geographical orientation improve conditions for PV installations.
4. Optimizing PV Systems: Use of monocrystalline panels and solar tracking systems trackers). Device with battery to store energy during the months of low radiation.
5. Studies on the impact of fog and precipitation. Fiscal facilities and subsidies for solar energy investors. Educating the local community on the benefits of renewable energy.

Bibliography

[1] P. Gilman, SAM photovoltaic model technical reference, 201
[2] M. Iqbal, An Introduction To Solar Radiation. Elsevier Science, 1983, isbn: 9780323151818. doi: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-373750-2.X5001-0.
[3] B. Marion, S. MacAlpine, C. Deline, et al., "A practical irradiance model for bifacial PV modules," in 2017 IEEE 44th Photovoltaic Specialist Conference (PVSC), IEEE, Jun. 2017. doi: 10.1109/pvsc.2017.8366263.
[4] A. Mermoud, "Pvsyst: Software for the study and simulation of photovoltaic systems," ISE, University of Geneva, www.pvsyst.com, 2012.
[5] https://pvwatts.nrel.gov/
[6] https://pvgis.com/en

AN EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF ZnO AND Mn DOPED ZnO THIN FILMS FOR OPTOELECTRONIC APPLICATIONS

Serajum Munira
Mst., Department of Physics, University of Rajshahi, Rajshahi-6205, Bangladesh

M. Riju Khandaker
Department of Physics, University of Rajshahi, Rajshahi-6205, Bangladesh

M.S.I. Sarker
Department of Physics, University of Rajshahi, Rajshahi-6205, Bangladesh

M.K.R. Khan
Department of Physics, University of Rajshahi, Rajshahi-6205, Bangladesh

ABSTRACT

Zinc oxide (ZnO) has attracted much attention due to its large variety of applications including light emission devices, laser diodes, solar cells, photodetectors, transparent electronics, piezoelectric devices, spintronics etc. In this work, undoped and Mn doped ZnO thin films with percentage of Mn content (5%) are deposited at 270 °C onto glass substrate by low-cost spray pyrolysis technique. The optical properties of ZnO and ZnO:Mn thin films has been studied by UV-Vis spectrophotometer. From the optical studies, the transmittance is found to decreased in the wavelength range 380-1100 nm for Mn doped ZnO thin film in comparison to the undoped ZnO. The optical refractive index, absorption coefficient, extinction coefficient, dielectric constants, optical conductivity, loss factor and loss angle have also been analyzed with the function of photon energy. All these optical parameters are found to be affected substantially by Mn doping. The optical red shift is found due to Mn doping at Zn site of ZnO thin film.

Keywords: Mn doped and undoped ZnO thin films, Spray Pyrolysis, Optical Properties, UV-Vis Spectrophotometer

EVALUATION OF OM EXTRACT AS AN ECO-FRIENDLY CORROSION INHIBITOR FOR CARBON STEEL IN 1M HCL SOLUTION

ELHARAMI ANAS
Sultan Moulay Slimane University, School of Technology, Laboratory of Engineering and Applied Technologies, Beni Mellal, Morocco

FORSAL ISSAM
Sultan Moulay Slimane University, School of Technology, Laboratory of Engineering and Applied Technologies, Beni Mellal, Morocco

KEROUAD SOFIA
Sultan Moulay Slimane University, School of Technology, Laboratory of Engineering and Applied Technologies, Beni Mellal, Morocco

ABSTRACT

With the growing interest in environmentally friendly corrosion mitigation strategies, natural inhibitors have gained considerable importance for their effectiveness as corrosion inhibitors. In this context, this research investigates the inhibitory efficacy of an acetonic extract obtained from (OM) leaves for carbon steel in 1M HCL using various experimental techniques, including Potentiodynamic Polarization (PDP) and Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS). The results indicate that the inhibitory efficacy increases from 0.87% to 94% with increasing concentration of OM extract, decreases with the increase of temperature and stabilizes with immersion time. Polarization curves showed that the extract acted as a mixed inhibitor.

Keywords: Carbon steel; Extract of OM; Immersion time; EIS; Sentence case.

SYNTHESIS, STRUCTURAL ANALYSIS, AND QUANTUM CHEMICAL INVESTIGATION OF 2-METHYL-6-NITROANILINIUM HYDROGEN SULFATE: EXPERIMENTAL AND THEORETICAL APPROACHES

El.Majdi
Laboratory of Physical Chemistry of Materials, Ben M'Sick Faculty of Sciences, Hassan II University of Casablanca, Casablanca, Morocco.

S. Zerraf
Laboratory of Physical Chemistry of Materials, Ben M'Sick Faculty of Sciences, Hassan II University of Casablanca, Casablanca, Morocco.

F.Alloun
Laboratory of Physical Chemistry of Materials, Ben M'Sick Faculty of Sciences, Hassan II University of Casablanca, Casablanca, Morocco.
Laboratoire de Chimie Appliquée Des Matériaux (LCAM), Faculty of Science, Mohammed V University in Rabat, P.O.Box. 1014 Agdal-Rabat, Morocco

M.E. Belghiti
Laboratory of Physical Chemistry of Materials, Ben M'Sick Faculty of Sciences, Hassan II University of Casablanca, Casablanca, Morocco.

A.Ouasri
ReSIP Laboratory, Centre Regional des Métiers de l'Education et de la Formation, Madinat Al Irfane, Souissi, BP 6210, Rabat, Morocco

Said Belaaouad
Laboratory of Physical Chemistry of Materials, Ben M'Sick Faculty of Sciences, Hassan II University of Casablanca, Casablanca, Morocco.

ABSTRACT

A novel compound, 2-methyl-6-nitroanilinium hydrogen sulfate $(C_7H_9N_2O_2)HSO_4$, has been investigated using single-crystal X-ray diffraction and infrared spectroscopy techniques. The quantum chemical properties of this compound are computationally studied via B3LYP, 3D-MEPs and HAS methods. This synthesized material crystallizes in the monoclinic system, centrosymmetric space group $P2_1/c$ (Z = 4), with unit cell parameters: a= 12.9361(7) Å, b=11.7735(6) Å, c=6.5764(4) Å, β=100.1850(9)°, and V=1024.81(16) $Å^3$. The obtained structure provides a clear description of hydrogen bonds connecting the sulphate hydrogen of HSO4- with the organic compound. The atomic arrangement in this structure consists of symmetric $(H_2S_2O_8)^{2-}$ dimer anions formed by two $(HSO4)^-$ ions via hydrogen bonding O5-

H••••O6. Each (HSO_4)- ion aggregates with the cation through hydrogen-bond interactions of O-H----O(S) and N-H••••O(S) types. Hirshfeld surface analyses suggest that the nitro groups contribute predominately to hydrogen bonds interactions (N–H···O and O–H···O), indicating its involvement in a significant number of interactions stabilizing the crystal structure. The recorded infrared spectrum is studied in comparison to the theoretical one considered for $C_7H_9N_2O_2^+$••HSO_4^- molecular unit, where anion and cation are considered in their free symmetry. The agreement between experimental and computational allowed understanding molecular and crystalline levels of $C_7H_9N_2O_2^+$••HSO_4^-, as an indication of suitability of B3LYP/lanl2dz/scrf=(solvent=water)/pop=(nbo, savenbos) basis set for studying the molecular geometry and electronic structure of the studied material. 3D-MEPs, Fukui function (nucleophilic and electrophilic reactivity) and HAS analyses offer valuable insights into the local and global reactivity and intermolecular interactions within the $C_7H_9N_2O_2^+$••HSO_4^- crystal structure.

Keywords: Crystal structure; electronic structure, Hirshfeld, Infrared, X-ray; Computational (ELF, HSA, DFT).

ANALYSIS OF THE IMPACT OF TEMPERATURE AND BAND GAP ON THE PERFORMANCE OF CZTSSE SOLAR CELLS

Feriha Afrah BOUKHELKHAL
Laboratoire Matériaux, Systèmes Énergétiques, Énergies Renouvelables et gestion de l'Énergie (LMSEERGE).
Université Amar Telidji de Laghouat. Bd des Martyrs BP37G, Laghouat-03000- Algérie.

ABSTRACT

CuInGaSe2 (CIGS) and CdTe are two examples of thin film photovoltaic technologies that rely on costly, scarce, and poisonous materials (In, Ga, and Te) (Cd). As a result, new solar-absorbing materials made of inexpensive, plentiful, and ecologically beneficial materials from earth's waste must be investigated. Copper-Zinc-Tin-Sulphide/Selenium $Cu_2ZnSn(S, Se)_4$ (CZTSSe) is thought to be the best substitute for CIGS and CdTe unter them. In this work, $Cu_2ZnSn (S,Se)_4$ material was exploited as absorber layer in solar cell structure, to study the impact of temperature and band gap on the efficiency of CZTSSe solar cells using a simulator (1-D SCAPS). the obtained results show that optimal values of efficiency of our structure solar cell: η=26%.

Keywords: CZTSSe, Absorber layer, SCAPS software

EFFECT OF SELENIUM CONCENTRATION ON SOLAR CELL-BASED CZTSSE PERFORMANCE

Feriha Afrah BOUKHELKHAL
Laboratoire Matériaux, Systèmes Énergétiques, Énergies Renouvelables et gestion de l'Énergie (LMSEERGE).
Université Amar Telidji de Laghouat. Bd des Martyrs BP37G, Laghouat-03000- Algérie.

ABSTRACT

Thin-film solar cells based on the kesterite structured compound semiconductor $Cu_2ZnSn(S,Se)_4$ (CZTSSe) comprise inexpensive, earth-abundant, and non-toxic elements while maintaining favorable, optical, electrical properties (such as high absorption coefficient). in this work, we varied the concentration of Se in CZTSSe material and study the effect of this variation on performance of solar cell based CZTSSe material

Keywords: CZTSSe, Absorber layer, SCAPS software

CHALLENGES IN PROTECTING CYBER-PHYSICAL SYSTEMS: STRATEGIES FOR RESILIENT SECURITY

Gunjan Mukherjee
Professor, Department of Computational Science Brainware University

Shantanu Bhadra
Assistant Professor, Department of Computational Science, Brainware University

Jayanta Aich
Associate Professor, Department of Computational Science, Brainware University

ABSTRACT

Cyber-Physical Systems (CPS), seamlessly integrate networking, computer, and physical components, are essential to sectors like critical infrastructure, healthcare, and transportation, power distribution. Nevertheless their interconnected nature exposes a variety of security risks such as cyber attacks, system vulnerabilities and operational distortions. This study explores the main security issues with CPS, highlighting the significance of comprehending new threats, addressing unique security needs that differentiate them from conventional IT systems, and developing efficient defence tactics. It explores security measures intended to reduce risks and improve system resilience by means of deterrent, prevention, detection, recovery, and resilience. This paper portrays fundamental challenges such as identifying the threats and the consequences of cyberattacks. Secondly a comparative analysis of conventional IT Security and the Cyber Physical System.Thirdly a discussion of about security measures for prevention, detection, mitigation of various cyberattacks. In order to strengthen CPS against sophisticated threats, the work emphasizes the significance of real-time monitoring, adaptive security frameworks, and AI-driven threat intelligence.

Keywords: Cyber-Physical Systems (CPS), IT security, threats, adaptive security.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPLICATIONS AND CLIMATE-FRIENDLY HYDROGEN FUEL CELL VEHICLE USE AS EMERGING TECHNOLOGIES FOR A SUSTAINABLE FUTURE

K.R.Padma
Assistant Professor, Department of Biotechnology, Sri Padmavati Mahila Visvavidyalayam (Women's) University, Tirupati, AP.
ORCID NO: 0000-0002-6783-3248

K.R.Don
Reader, Department of Oral Pathology and Microbiology, Sree Balaji Dental College and Hospital, Bharath Institute of Higher Education and Research (BIHER) Bharath University, Chennai, Tamil Nadu, India
ORCID NO: 0000-0003-3110-8076

ABSTRACT

In order to optimize energy consumption and attain energy self-sufficiency in Polish firms, this paper addresses the opportunities and problems of utilizing artificial intelligence (AI) and hydrogen. There has been a trend towards alternative fuels and AI-supported technology due to the current economic scenario in Europe, which includes the global energy and economic crises brought on by the Covid-19 pandemic, broken supply chains, and geopolitical conflicts. Hydrogen is recognized as a crucial resource for this energy shift, possessing potential uses as a raw material, energy source, and energy carrier. The article emphasizes the significance of green hydrogen, which is created by electrolysis using renewable energy sources. It is suggested that artificial intelligence (AI) be used to improve the efficiency, control, monitoring, and prediction of hydrogen generation and storage technologies. Green hydrogen is a major participant in the renewable energy scene as we strive toward a sustainable future. This article explains how energy security and carbon neutrality can be greatly advanced by introducing green hydrogen into the grid through smart collaborations. It looks at the infrastructure, teamwork, and creativity needed for this change, which will result in a more robust and greener energy system. The development of hydrogen should also fulfill the seventh UN goal, which is "affordable and clean energy." We go into hydrogen utilization, geological storage of hydrogen, and production and life cycle analysis in this part of the article. Methane pyrolysis, coal gasification, steam methane reforming, and water electrolysis are processes that produce hydrogen. We adopt life cycle analysis to compare the environmental effects of several hydrogen production processes. Power systems, transportation, the manufacturing of ammonia and hydrocarbons, and the metal luminescent industries all require hydrogen. All things considered, transferring extra off-peak energy to meet dispatchable on-peak demand is best achieved by combining electrolysis-generated hydrogen with hydrogen storage in subterranean porous medium, such as geological reservoirs and salt caverns. The beneficial effects of fuel cell cars for the environment are

covered in the study, including how they can run entirely on renewable energy sources and produce zero emissions in the process.

Keywords: Renewable energy, Hydrogen production, Artificial intelligence, Geopolitical conflicts, Clean energy.

ASSESSMENT OF NOISE POLLUTION ON GANGAPUR ROAD, NASHIK: SOURCES, IMPACTS, AND MITIGATION STRATEGIES

Jondhale Janhavi Motiram
Department of Environmental Science, K.R.T. Arts, B.H. Commerce & A.M. Science (K.T.H.M.) College, Nashik, Maharashtra, India

ABSTRACT

Noise pollution is a pressing environmental concern in urban areas, adversely affecting public health and quality of life. This study focuses on assessing the noise pollution levels along Gangapur Road in Nashik, India—a rapidly developing urban corridor experiencing increased vehicular traffic and commercial activities. Through systematic noise level measurements at strategic locations and times, the study evaluates the extent of noise pollution, identifies primary contributing factors, and assesses compliance with national ambient noise standards. The findings indicate that noise levels frequently exceed permissible limits, particularly during peak traffic hours, posing potential health risks to residents and commuters. The study underscores the need for effective noise management strategies, including traffic regulation, public awareness campaigns, and urban planning interventions, to mitigate noise pollution and enhance the urban soundscape along Gangapur Road.

Keywords: Noise pollution, urban corridors, vehicular traffic, ambient noise standards, public health, noise management, Gangapur Road, Nashik, India.

IMPACT OF BIOCHAR FROM DATE PALM WASTE ON DATE PRODUCTION AT DIFFERENT PHENOLOGICAL STAGES IN ALGERIA

Khawla Barkat
Laboratory for the Promotion of Innovation in Agriculture in Arid Regions. Mohamed Khider University – Biskra, Algeria.

Kamel Guimeur
Laboratory for Ecosystem Diversity and Dynamics of Agricultural Production Systems in Arid Zones. Mohamed Khider University – Biskra, Algeria

Hanane Bedjaoui
Laboratory for the Promotion of Innovation in Agriculture in Arid Regions. Mohamed Khider University, Biskra, Algeria.

ABSTRACT

The date palm is the pivot of the oasis system. This work focuses on improving date production by using amendments based on date palm waste. The main objective is to study the effect of compost and biochar on date production. The trial was carried out at the ITDAS "El-Hadjeb" station on 24 palm trees of the "Deglet Nour" cultivar over 10 years old. For field fertilization, several combinations were tested, including biochar combined with manure and chemical fertilizers, as well as biochar combined with compost and fertilizers, or biochar alone with manure or compost. Biometric parameters measured included date length, width and weight, as well as yield (kg/palm) at different maturity stages (Loulou, Khalal and Tmar). Biochemical parameters measured included moisture and acidity at the Tmar stage. The main results indicate that the biochar-manure combination treatment was more effective than other treatments in improving biometric parameters at different stages of maturity, increasing yield by around 92 kg/palm. For biochemical parameters, the lowest average titratable acidity was recorded with the biochar-manure-fertilizer and biochar-manure combinations, at 0.06 meq/100g and 0.0625 meq/100g respectively. On the other hand, the highest average was observed for the control with 0.287 meq/100g. The lowest water content was recorded in the mineral fertilizer treatment with an average of 9.5%. However, the highest average was observed in the biochar-manure treatment with a value of 15%. Biochar can help retain water and nutrients in the soil, creating a favorable environment for date growth. This can enable plants to benefit rapidly from available nutrients.

Keywords: Algeria, Biochar, Date, *Phoenix dactylifera* L., Fertilization, Yield.

SUSTAINABLE UTILIZATION OF DATE PALM RESIDUES: COMPOST PRODUCTION AND AGRONOMIC IMPACT ASSESSMENT

Boutalbi Houda
Department of Agronomic Sciences, University of Biskra / Laboratory of Ecosystem

ABSTRACT

This study was conducted as part of the valorization of date palm residues (DP) through composting, aiming to produce stable, nutrient-rich composts for sustainable agricultural use. Four treatments were prepared at the Department of Agronomic Sciences of Mohamed Kheider University of Biskra using forced-aeration barrels: T1 (70% DP + 30% sheep manure), T2 (70% DP + 30% poultry manure), T3 (70% DP + 30% sewage sludge), and T4 (90% DP + 10% leachate).

After a 90-day composting period, analyses showed a significant increase in nutrient elements, particularly potassium, with values of 9.84 mg/g for T2, 7.04 mg/g for T1, 4.51 mg/g for T3, and 7.27 mg/g for T4. The pH of the composts showed a trend towards neutrality, an important maturity criterion.

Regarding phytotoxicity, germination tests conducted on barley crops showed germination rates ranging between 70% and 90% for composts T1, T3, and T4, indicating low toxicity and confirming their potential for agricultural use. However, compost T2 exhibited a germination rate below 70%, suggesting the presence of phytotoxic compounds.

These results demonstrate that composts derived from date palm residues meet quality requirements in terms of both stability and agronomic value and offer a promising solution for sustainable agricultural waste management and soil fertility improvement omising solution for sustainable agricultural waste management and soil fertility improvement.

Keywords: Composting, date palm residues, mineral elements, phytotoxicity, sustainable agriculture.

EFFECT OF NEW GENERATION FUNGICIDES AGAINST *Helminthosporium oryzae* CAUSES BROWN SPOT IN RICE (*Oryza sativa* L.)

VIGNESH K
Assistant Professor, Palar Agricultural College, Ambur
ORCID: 0000-0003-4484-3862

K. SELVAM
Assistant Professor, Palar Agricultural College, Ambur
ORCID: 0000-0002-0060-2314

ARSHA G
Assistant Professor, Palar Agricultural College, Ambur
ORCID: 0000-0009-1694-9716

ABSTRACT

Helminthosporium oryzae, the causal agent of brown spot disease in rice (*Oryza sativa* L.), poses a significant threat to rice production worldwide, reducing both yield and quality. Traditional control methods, including cultural practices and chemical fungicides, have shown limited effectiveness, leading to the exploration of new generation fungicides as a potential solution. This study evaluates the efficacy of novel fungicides against H. oryzae, focusing on their ability to inhibit fungal growth, spore production, and disease development in infected rice plants. Various new fungicides were tested for their protective and curative action on rice, comparing their effectiveness with conventional fungicides. Results demonstrate that these new generation fungicides provide enhanced disease control, reducing symptoms of brown spot significantly more than traditional treatments. The findings suggest that these fungicides offer a promising alternative for managing brown spot in rice, potentially improving crop yield and quality. Furthermore, their lower toxicity to non-target organisms and environmentally friendly profiles make them a valuable tool in sustainable agriculture.

Keywords: Rice, Brown spot, *Helminthosporium oryzae*, Fungicide.

HYDRO-AGRICULTURAL DEVELOPMENT STRATEGY FOR THE EL KHRIOUA WATERSHED (KAIROUAN GOVERNORATE IN TUNISIA)

Olfa HAJJI
Ecole supérieur des ingénieurs de Medjez El Beb,Tunisie

ALA Bougeurra
Ecole supérieur des ingénieurs de Medjez El Beb,Tunisie

Saleh Jelliti
Commesseriat Régional De l'Agriculture du Kairouan

ABSTRACT

Tunisia is facing one of the most serious problems of soil erosion due to water. Indeed, soil erosion presents one of the most important environmental problems given the complexity of the factors that govern it and its direct impact on the agricultural productivity and livelihoods of local population. This study consists of developing an anti-erosive management plan containing several scenarios to reduce the rate of erosion in the El khrioua watershed.

The model adopted in this study is the RUSLE model, which is commonly used to calculate average annual soil loss land surface unit resulting from erosion. This loss depends on several factors: the erosivity of the rains, the erodibility of the soil, the vegetation cover, the topography and the anti-erosion practice. The analysis, the combination of the data and the modelling were carried out in a Geographic Information System (GIS). Overlaying information layers on precipitation, soils, topography and vegetation cover, provide a map showing the average risk of erosion in t/ha/year per spatial unit and subsequently the determination of the impact of the proposed development scenarios on the rate of erosion. Indeed, the average rate of erosion is found to be 7.27 t/ha/year and the combination of all scenarios (scenario 1: Conservative Farming Techniques and scenario 2: Slope and Stream Development) is the optimal solution (E=2.14 t/ha/year), but it remains preferable to choose the second scenario (arrangements of olive trees by basins and installation of retention benches) as is less expensive (4439.85mDT) and its results (E=5.01 t/ha/year) is also acceptable for effective control of water erosion.

Keywords: Water erosion, Watershed, Modelling, RUSLE, GIS, Anti-erosion developments.

ASSESSMENT OF CASSAVA FARMERS USAGE OF IMPROVED TECHNOLOGIES IN NORTH CENTRAL, NIGERIA

Kayode Samuel Obaniyi
Department of Agricultural Extension and Rural Development, Landmark University Omu-Aran

Ibukun Elizabeth Ojo
Department of Agricultural Extension and Rural Development, Landmark University Omu-Aran

Grace Mfon Ekanem
Department of Agricultural Extension and Rural Development, Landmark University Omu-Aran

ABSTRACT

The study examined the adoption of improved technologies in cassava production in Irepodun local government area of Kwara State, Nigeria. The following objectives were examined: describe the socioeconomic characteristics of cassava producers: determine the level of adoption of improved agricultural technologies by cassava farmers in Irepodun: Multi stage sampling was used to select 154 respondents from the study area such as Omu-Aran, Arandun, Oro, Esie, Ijan, in Irepodun Local Government area and this is because agriculture is the major occupation of the majority of the population. A well-structured questionnaire was used to gather the data. Descriptive statistics such as percentage, means, frequency were used to analyze the data. The result revealed that the mean age of cassava farmers was 54 years. The majority (83.1%), of the respondent were male while 96.1%were married. Majority (96.8%)of them had farm size of between 1-2 hectares, majority(72.1%), of them had yield between 10,000-14,000kg/hectare while (79.2%). Had a total income realized ₦100,000-₦499,999

The finding shown that the adoption index was 84% with the level of adoption of the technologies such as improved varieties, appropriate spacing, weeding interval, agro-chemical application, tillage practices were at the top adoption stage, while planting date and fertilizer application were at the trial stage and soil conservation practices and improved processing techniques were at the evaluation stage. Farmers should be more encouraged to adopt soil conservation practices, and improved processing techniques to improve their productivity thereby increase their income and standard of living. Therefore, it is recommended that awareness campaign on the benefit of soil conservation practices and improved processing techniques should be organized by stakeholders, government and non-governmental organization thereby increasing their adoption level and consequently improving food security. Moreover, the government should help to cover the cost of inputs through input subsidy programs, which will further enhance food security.

Keywords: Adoption, Improved Technologies, Cassava Production.

IMPACT OF CILIA VELOCITY ON MUCUS FLOW DURING PROLONGED MILD COUGH

Arti Saxena
Associate Professor, Department of Applied Sciences, Manav Rachna International Institute of Research Studies, Faridabad, Haryana, India

ABSTRACT

This paper deals with a circular two-layered mathematical model of air and viscoelastic mucus flow through the trachea in the human respiratory tract due to prolonged mild cough with bronchial constriction and outlines the quasi-steady state flow of air and viscoelastic mucus under a time-dependent pressure gradient. Air is regarded to be incompressible Newtonian fluids, whereas mucus as viscoelastic Voigt elements. It is noted that mucus transport increases as the cilia velocity in mucus increases at a given pressure drop. Mucus transport decreases in constricted airways as the mucus viscosity increases at different pressure drop. Air transport remains constant for both cases.

Keywords: Ciliary Beat, Viscosity, Viscoelastic Fluid, Bronchial Constriction.

EXPLORING THE POTENTIAL OF BANANA PEDUNCLE JUICE IN PLANT GROWTH ENHANCEMENT

S Pragadeeshwaran
M Tech Biotechnology, Rajalakshmi Engineering College.

Dr. K. R. Preethy
Assistant professor, Rajalakshmi Engineering College.

ABSTRACT

Hydroponics is an innovative, soilless farming technique where plants receive nutrients directly through a water-based solution. This efficient and sustainable method uses significantly less water than traditional farming and eliminates the need for soil, making it ideal for regions with poor soil quality, limited land usage, or scarce water resources. Hydroponic systems are also well-suited for urban and indoor environments, reducing pesticide use and transportation costs, thereby minimizing environmental impact. The research focus on improving scalability, affordability, integrating renewable energy sources, and developing automated systems for better resource management. This study explores the potential of banana peduncles the stalks supporting banana bunches as a sustainable nutrient source for hydroponic farming. Banana peduncles constitute approximately 13% of a bunch's total weight and are typically discarded as waste. Extracting and utilizing their nutrient-rich juice as a natural fertilizer offers a promising way to reduce organic waste while enhancing hydroponic productivity. The study aims to extract and characterize the banana peduncle juice, its nutrient composition, and evaluate its effectiveness in hydroponic plant growth under different conditions. By utilizing this abundant agricultural byproduct, the research contributes to sustainable food production, environmental conservation, and waste reduction. Hydroponics accelerates plant growth, cuts water usage by up to 90%, and is highly adaptable to urban farming, greenhouses, and areas with space limitations. Utilizing banana peduncle juice in hydroponics could offer an eco-friendly and cost-effective alternative to synthetic fertilizers, addressing key agricultural challenges such as land scarcity, population growth, and resource depletion.

Keywords: Organic waste management, Banana peduncle, Hydroponics, Soilless forming, Plant growth analysis.

A RANDOMIZED STUDY ON THE EFFECTS OF GLUCOSE ON HUMAN HEALTH AT THE NOBLE INSTITUTE IN THE KURDISTAN REGION OF IRAQ

Rabar Mohammed Hussein
Department of Medical Laboratory Technician, Noble Technical Institute, Erbil- Iraq

ABSTRACT

This research examines the impact of glucose on human health, focusing on its physiological roles, metabolism, and associated disorders. The study is divided into multiple sections, covering the biological importance of glucose, regulatory mechanisms, and health implications such as diabetes. Data were collected from individuals at the Noble Institute, and statistical analyses were conducted to assess glucose levels across different demographics.

Keywords: Glucose metabolism, blood sugar regulation, diabetes, human health, Kurdistan Region, Erbil, physiological homeostasis

LEXICAL AMBIGUITY, POLYSEMY, AND CONTEXTUAL UNDERSTANDING IN ENGLISH FOR SPECIFIC PURPOSES: CHALLENGES AND STRATEGIES FOR ARCHITECTURE AND CIVIL ENGINEERING STUDENTS

Viola Karapici
PhDC., Polytechnic University of Tirana, Albania, Centre of Foreign Languages

ABSTRACT

This paper examines the role of lexical ambiguity, polysemy, and contextual understanding in the context of English for Specific Purposes (ESP), particularly in the fields of architecture and civil engineering. In technical fields, language precision is crucial, yet words often carry multiple meanings, which can create challenges in effective communication. Lexical ambiguity, which occurs when a single word has multiple interpretations, poses a significant issue, especially for non-native speakers and students of ESP. The paper delves into the concepts of homonymy and polysemy, providing examples from both everyday language and technical jargon, with a particular focus on how these ambiguities impact communication in professional settings.

Polysemy, where multiple meanings are related, plays a significant role in technical communication. In fields like construction and architecture, terms such as "foundation," "beam," or "load" can have different interpretations depending on the context. This paper illustrates how understanding the specific context of a term is essential for accurate interpretation and effective communication. Students in ESP settings must learn to distinguish between these different meanings, as misinterpretations can lead to confusion or even errors in construction projects. The paper emphasizes the importance of developing contextual inferencing skills to aid in overcoming these linguistic challenges.

Additionally, the paper explores the importance of contextual understanding in interpreting ambiguous terms. Contextual meaning is shaped not only by surrounding words but also by knowledge of the field and the situation at hand. The paper discusses how professionals in architecture and civil engineering rely on both linguistic cues and specialized knowledge to make sense of technical language. The ability to navigate complex texts and conversations with precision is a critical skill for students in ESP programs, as it influences both their academic success and future professional effectiveness.

Finally, the paper suggests strategies for improving the inferential reasoning and contextual interpretation skills of ESP students. It stresses the importance of clear communication, the use of specialized terminology, and the integration of context into language learning. By enhancing students' ability to understand and navigate lexical ambiguity and polysemy, the study contributes to the broader goal of improving linguistic competency in technical fields. The findings highlight how linguistic flexibility, paired with deep contextual awareness, can

mitigate communication challenges and support clearer, more accurate professional interactions in architecture and civil engineering.

Keywords: Lexical Ambiguity, Polysemy, Contextual Understanding, English for Specific Purposes (ESP), Technical Communication, Civil Engineering, Architecture, Misinterpretation, Contextual Inference, Specialized Terminology

1. Introduction

ESP Course at the Polytechnic University of Tirana

Englis for Specific Purposes (ESP), taught at the Polytechnic University of Tirana and its respective faculties, plays a crucial role in higher education, addressing the specific needs of students. When it comes to ESP texts in engineering faculties, there is a wide range of available materials, and as ESP teachers, we must select texts that influence not only the course content but also teaching methods, student motivation, and the development of language skills and specialized vocabulary.

Foreign language texts and supplementary materials provided throughout the semester support foreign language teachers in planning creative, meaningful, and engaging lessons. These activities should aid students in acquiring knowledge relevant to their field and developing language skills (reading, listening, speaking). The focus should be on student-centered teaching and activities, as students learn best when they are actively engaged in the learning process. This can be achieved through role-playing exercises during class, where one student acts as the urban planner/architect/engineer and the other as the client.

Students learn through learning situations where reading texts address topics of academic interest. These topics must be appropriate for the students' language level. It is important to note that not all departments within the Polytechnic University have students with the same foreign language proficiency. For instance, urban planning students tend to have higher language skills compared to civil engineering students.

Moreover, students should carry out tasks and projects that extend beyond the classroom, reading more complex texts, finding additional information, and mastering technical terms as part of the learning process. This type of learning not only engages students but also helps build a strong connection between what they learn and real-life situations.

ESP is defined as a response to students' needs, focusing on language knowledge and skills related to their profession. As Cunningsworth emphasizes, the process of selecting the method used in the classroom must align with the teaching program's goals and values, with a focus on students' needs.

Texts play a vital role in language acquisition, as they are considered one of the main factors for learning a foreign language, second only to the teacher's role. In addition to publisher-

prepared materials, teacher-created and adapted resources are equally important, as they should be tailored to the needs and demands of students for their future careers.

However, the question arises: do ESP textbooks really exist? This is the key question addressed by Johns (1990). One of the fundamental dilemmas he presents is that "ESP teachers often find themselves in a situation where they are expected to produce a syllabus that precisely matches the needs of a group of students, but they are expected to do so with little or no preparation."

To avoid a situation where ESP teachers face the need to create personalized syllabi without sufficient preparation, it is crucial for them to follow certain practices and methodologies that can help design a successful and tailored program.

1.1 Strategies for Creating Personalized Syllabi

Below are some methods and strategies that can help instructors in this process:

a) **Needs Analysis**

To design a suitable syllabus for students, it is essential to conduct an in-depth needs analysis. In the literature, this is one of the most important steps in ESP (English for Specific Purposes) teaching design, as it helps identify students' specific requirements regarding language use for particular purposes. Robinson (1991) highlights the importance of needs analysis in ensuring that the syllabus addresses students' requirements within their professional or academic context.
Therefore, ESP instructors must thoroughly assess students' needs using methods such as interviews, questionnaires, and observations of their professional activities to understand the skills and knowledge they need to handle real-life situations. While it may not be physically possible to gather this feedback every year, it is crucial to conduct it at least once every 5–6 years to maintain the smooth functioning of the teaching process and standardize technical terminology with the professional subjects taught in Albanian.

b) Using an Integrated and Flexible Approach

ESP syllabi should be flexible and allow for the integration of students' needs and various contexts. Dudley-Evans and St John (1998) discuss the importance of a flexible approach that enables the alignment of teaching materials and activities with the specific demands of students.

c) **Competency-Based Teaching Planning**

Another recognized method is competency-based teaching planning. Hyland (2006) emphasizes that in designing ESP syllabi, teachers should focus on developing specific language skills and competencies that will be used in a professional or academic context. This way, the syllabus becomes more oriented toward practical skills applicable to real-world scenarios.

d) **Preparing Teachers to Create Syllabi**

ESP teachers often face the challenge of lacking proper training for creating personalized syllabi. Therefore, it is important for them to have access to professional resources and training materials that help develop the skills necessary for designing an effective syllabus. Johnson (1989) suggests that ongoing training and professional development are essential to address the challenges of ESP syllabus design.

In their well-known book, *English for Specific Purposes: A Learning-Centered Approach* (1987), Hutchinson and Waters — considered the "bible" of ESP even today — highlight the importance of needs analysis in creating ESP programs, as previously mentioned. They argue that the selection of materials and the structure of the course should be based on a deep understanding of students' linguistic needs, which helps tailor the teaching process to the specific demands of a professional or academic field.

For this reason, two questionnaires were developed for students during the semester. The first questionnaire aimed to identify students' needs and provide a general overview of their knowledge of the field's terminology, even in the Albanian language.

Hutchinson and Waters stress that ESP teaching should be student-centered, meaning it should take into account what students can do with the language and how they can use their language skills in real work or academic situations. They describe this as a "needs fulfillment" process, where the language teacher must identify these needs and create materials that address them.

1.2 Challenges of Reading Technical Texts

Reading specialty texts in the Faculty of Civil Engineering and the Faculty of Architecture and Urban Planning presents a significant challenge for students, especially for those learning the language for specific purposes (ESP – English for Specific Purposes). Reading this type of material requires not only in-depth knowledge of the subject, which students may not necessarily have as syllabi are developed simultaneously throughout the semester, but also advanced language skills to understand and interpret the provided information, which not all students possess. Texts from specialized fields, such as engineering, architecture, and urban planning, are often filled with unknown terms and complex concepts, which can be difficult to understand without in-depth preparation (Dudley-Evans, 1998).

One of the biggest challenges is the use of technical language and specialized terminology, which is often difficult for students who are not familiar with this field. According to Anthony (2014), understanding the specific terms of the field is essential for a complete understanding of ESP texts, and the lack of this knowledge can lead to serious issues when reading and interpreting materials. This limitation is especially evident when the student does not have sufficient knowledge of the technical topics being discussed, as mentioned earlier.

Another problem is the complex structure of the texts. Often, they are organized in complicated ways, with a lot of detailed information and different divisions that require a systematic and careful approach to be understood. Bell (2016) notes that the organization of ESP texts requires students to develop their skills in identifying key information and understanding the connections between various concepts that may be presented in a complex form.

Additionally, technical texts often contain statistics, formulas, and graphs that may be difficult for students who are not familiar with these aspects to interpret. This requires advanced skills not only in understanding the language but also in interpreting the data and linking this information with existing theories and concepts. According to Jordan (2018), to understand higher-level academic materials, students need to have a solid understanding of the field and be able to use the language correctly to interpret and explain these materials.

Another limitation is the attempt to balance the development of language skills and specialized field knowledge. This challenge is evident for students trying to use specialized language in an academic context without a strong foundation in the required terminology (Hyland, 2006). When these two aspects are not balanced, students may struggle to understand and use the language effectively to express their ideas.

Finally, for students following ESP courses, the lack of practice and assistance in developing reading skills for technical materials in a foreign language can affect their ability to handle these materials. Dudley-Evans and St. John (1998) suggest that in order to succeed in reading technical and academic texts, students need continuous support and opportunities for regular practice to improve their skills.

2. Understanding Meaning in Different Contexts: A Linguistic Perspective

The ability of words and expressions to convey different meanings depending on the context is a fundamental aspect of linguistic competence. In linguistics, there are several terms that describe this phenomenon, including semantic flexibility, contextual meaning, polysemy, and lexical ambiguity. This paper explores these concepts, providing theoretical insights and references from well-known linguistic literature.

2.1 Semantic Flexibility

Semantic flexibility refers to the ability of a word or expression to adapt its meaning according to different linguistic environments (Evans & Green, 2006). This phenomenon is particularly prevalent in technical and academic discourse, where terminologies may change meaning based on disciplinary conventions. For example, the word "stress" in engineering refers to mechanical deformation, while in psychology, it refers to emotional pressure.

Semantic flexibility is an important phenomenon in language studies because it reflects how words and expressions can take on different meanings depending on the context. This aspect of natural language is essential for understanding meaning interpretation, language

processing, and effective communication. Semantic flexibility is related to concepts such as polysemy, lexical ambiguity, metaphor, and metonymy, all of which play a significant role in the communication process.

2.1.1 Aspects of Semantic Flexibility

1. **Polysemy**

Polysemy refers to the fact that a word can have more than one related meaning. For example, the word "head" in English can refer to a person's head or the head of an organization (Murphy, 2010). Polysemy aids linguistic economy by allowing a single word to cover a broad range of meanings with conceptual links.

2. **Lexical Ambiguity**

Lexical ambiguity occurs when a word has more than one possible meaning, and context must assist in accurate interpretation (Cruse, 2011). For example, the word "bank" could mean a financial institution or a riverbank. This phenomenon often presents challenges in natural language processing, especially for computer systems that process text.

3. **Metaphor and Metonymy**

Metaphors and metonymies are essential tools of semantic flexibility. Lakoff and Johnson (1980) argue that conceptual metaphors play a key role in semantic flexibility, allowing the transfer of meanings from one conceptual domain to another. For example, the expression "time is money" suggests that time can be conceptualized as a financial resource.

On the other hand, metonymy involves using a word to represent a related concept. For example, "the White House" can be used to refer to the administration of the President of the United States (Geeraerts, 2010).

4. **Contextual Use**

A word may have different interpretations depending on the communicative situation and the prior knowledge of the speaker and listener. For example, the word "hot" may refer to high temperature, popularity, or a sensitive issue, depending on the circumstances (Levinson, 2000). This aspect makes semantic flexibility essential in pragmatics analysis and interpersonal communication.

Implications of Semantic Flexibility

a) **In Natural Language Processing (NLP)**

Recognizing semantic flexibility is important for computer systems that analyze and interpret human language (Jurafsky & Martin, 2021). Technologies such as machine translation, text analysis, and chatbots rely on algorithms that handle lexical ambiguity and contextual meaning.

b) **In Foreign Language Acquisition**

Learning the various meanings of a word helps in speaking and reading comprehension. According to Nation (2013), foreign language students benefit when they learn polysemy and the figurative use of words, thereby increasing their linguistic competence.

c) **In Discourse Analysis and Pragmatics**

Semantic flexibility aids in the interpretation of implicit or ironic messages. For example, in a conversation, the expression "That's great!" may have a sarcastic meaning, depending on the intonation and context (Levinson, 2000). Below are some concrete examples of contextual flexibility in the classrooms of civil engineering and architecture/urban planning:In civil engineering, semantic flexibility is very present due to the use of technical terms that may have different meanings depending on the context. Below are some examples of meaning in this field.

We will discuss some examples below:

The Word "stress"

• In structural mechanics: Refers to the force per unit area acting on a material (e.g., Normal stress, Shear stress).

• In project management: Can be used to describe the psychological pressure an engineer or project manager experiences due to deadlines and costs.

The Word "beam"

• In construction: A horizontal structural element that supports loads (e.g., Reinforced concrete beam).

• In optics or geodesy: May refer to a beam of light or laser used in measurement and leveling.

The Word "foundation"

• In civil engineering: The structure that supports a building or object (e.g., Shallow foundation, Deep foundation).

• In a figurative context: May refer to the theoretical or conceptual basis of an idea or construction plan.

The Word "load"

• In structural analysis: Refers to the forces acting on a structure (e.g., Dead load, Live load, Wind load).

• In construction management: May refer to the workload or tasks that a construction team must fulfill.

The Word "joint"

• In construction and structures: Used to describe connecting joints between two elements (e.g., Expansion joint, Construction joint).

• In a social context: In informal conversations, it may refer to a meeting place or a joint venture.

The Word "aggregate"

• In construction materials: Describes the mineral particles used in concrete (e.g., Coarse aggregate, Fine aggregate).

• In statistics and data analysis: Used to describe a combination of numerical values (e.g., Aggregate demand in economics).

In architecture, semantic flexibility is important as many terms have different meanings depending on the context. Below are some examples of meaning in this field:

The Word "space"

• In architecture: Refers to an organized area within a building or urban environment (e.g., Public space, Private space).

• In astronomy or physics: May refer to outer space beyond Earth.

• In interior design: Used to describe how a room or environment is organized (e.g., Open space design).

The Word "light"

• In architectural design: Refers to natural or artificial lighting (e.g., Natural light, Artificial light).
• In painting or photography: Used to describe the contrast and shading of light on an object.

• In a metaphorical sense: May refer to an idea or new solution (e.g., He shed light on the issue).

The Word "form"

• In architecture and design: Describes the structure or silhouette of a building (e.g., Organic form, Geometric form).

• In administration: Refers to a completed document.

• In art and design: May refer to how an object or sculpture is composed (e.g., Abstract form).

The Word "scale"

• In architecture: Used to indicate the ratio between the size of an object and the surrounding environment (e.g., Human scale, Large-scale urban planning).

• In mathematics and engineering: Used to represent the size of a map or model (e.g., Scale 1:100).
• In music: Used to describe a series of notes in a specific key (e.g., Major scale, Minor scale).

The Word "structure"

• In architecture and construction: Refers to the supporting system of a building (e.g., Steel structure, Load-bearing structure).

• In linguistics: Used to describe the grammar and organization of a language (e.g., Sentence structure).
• In organization: May indicate how a company or institution is organized.

The Word "line"

• In design and architecture: Refers to a visual element that defines the shape or contours of a building (e.g., Horizontal lines, Curved lines).

• In transportation and urban planning: May refer to a subway or bus line (e.g., Subway line).

• In poetry or dramatic literature: Refers to a verse or dialogue from a character (e.g., Memorizing lines for a play).

These examples show how semantic flexibility affects professional communication in civil engineering and architecture and why understanding context is crucial to avoiding misunderstandings.

Semantic flexibility is an essential aspect of natural language, influencing many fields of study, from language processing to language acquisition and discourse analysis. Understanding the various ways in which words can be adapted to different contexts aids in improving communication and the development of more advanced language technologies. Further studies could focus on how semantic flexibility influences language comprehension and professional discourse in technical fields.

2.2 Polysemy

Polysemy refers to a situation where a single word has multiple related meanings (Cruse, 2000). For example, the term "foundation" can refer to the structural base of a building in architecture or an institution established in a social context. Polysemy is an essential feature of natural language, facilitating semantic economy but also presenting challenges for language learners (Taylor, 2003).

Polysemy is the linguistic phenomenon where a word has more than one meaning that is related to each other. Below are some examples of polysemy in different contexts:

Examples of Polysemy in Everyday Language

1. *The word "key"*

- In a physical context: An object used to open a door (e.g., She locked the door with a key).
- In a figurative sense: An important element for understanding something (e.g., The key to success is hard work).
- In music: A musical tone or scale (e.g., The song is in the key of C major).

2. *The word "head"*

- As part of the body: The head of a person or animal (e.g., She nodded her head).
- As a leader: Someone who leads an organization (e.g., He is the head of the department).
- In a spatial context: The upper or front part of something (e.g., The head of the table).

3. *The word "bank"*

- As a financial institution: A place where money is kept (e.g., She deposited money in the bank).
- As a natural formation: The shore of a river (e.g., They sat on the river bank).

4. *The word "light"*

- In a physical sense: Light that allows us to see (e.g., Turn on the light).
- In terms of weight: Something that is not heavy (e.g., This bag is very light).
- In a figurative sense: Something that is easy to handle (e.g., A light conversation).

5. *The word "date"*

- As a specific time or day (e.g., What is today's date?).
- As a romantic meeting (e.g., She went on a date last night).
- A type of fruit (e.g., I love eating dates).

Examples of Polysemy in Construction and Architecture

6. *The word "foundation"*

- In construction: The base part of a structure (e.g., The house has a strong foundation).
- In a figurative sense: The basis of an idea or institution (e.g., Education is the foundation of success).

7. *The word "column"*

- In architecture: A pillar that supports a structure (e.g., The temple had marble columns).
- In journalism: A regular article in a newspaper (e.g., She writes a column for the newspaper).

8. *The word "plane"*

- In geometry: A flat surface (e.g., A plane extends infinitely in all directions).
- In aviation: An airplane (e.g., He traveled by plane to Paris).

Examples of Polysemy in Technology and Science

9. *The word "network"*

- In technology: A system of connected computers (e.g., The office has a secure network).
- In social relations: A group of people connected professionally (e.g., She has a strong business network).

10. *The word "current"*

- In electricity: A flow of electric charge (e.g., The device runs on an electric current).
- In hydrology: The flow of water (e.g., The river has a strong current).
- In time: Something happening now (e.g., The current situation is unstable).

Polysemy is a fundamental element of language, as it helps conserve words and enhances communication flexibility. However, it can also create ambiguity if the context is not understood correctly.

2.3 Lexical Ambiguity

Lexical ambiguity arises when a word or phrase has multiple possible interpretations, often requiring additional context for clarification (Pustejovsky, 1995). Ambiguity can be categorized into **homonymy** (when meanings are unrelated, e.g., "bank" as a financial institution versus "bank" of a river) and **polysemy** (when meanings are related). In **ESP (English for Specific Purposes)** settings, lexical ambiguity can hinder comprehension, necessitating specialized strategies to discern the intended meanings (Biber et al., 2002).

Lexical ambiguity occurs when a word or term can be interpreted in different ways due to its multiple meanings or lack of clear context. In the fields of **civil engineering** and **architecture**, this can lead to misunderstandings during professional communication. Below are some examples of lexical ambiguity in these fields:

Examples of Lexical Ambiguity in Construction and Architecture

1. *The word "joint"*

- In construction: Refers to a connection between two structural elements (e.g., expansion joint, construction joint).
- In general meaning: Can refer to a body joint or a meeting place.
- **Ambiguity**: If an engineer says, "We need to strengthen the joint," the worker might not understand whether they are referring to a structural joint or something else.

2. *The word "beam"*
   - In construction: A horizontal element supporting a load (e.g., steel beam, concrete beam).
   - In optics and geodesy: Can refer to a light or laser beam (e.g., laser beam).
   - **Ambiguity**: If an architect mentions, "The beam should be adjusted," there might be confusion whether they mean a structural beam or a light beam.
3. *The word "load"*
   - In structural analysis: Refers to the force acting on a structure (e.g., dead load, live load).
   - On the construction site: Can refer to the amount of material to be transported (e.g., load of bricks).
   - **Ambiguity**: A worker might not understand whether the engineer is talking about the structural load or the materials to be moved.
4. *The word "elevation"*
   - In architecture and construction: Refers to a frontal or side view of a building (e.g., front elevation, side elevation).
   - In geography: Used to describe the height of a location above sea level.
   - **Ambiguity**: When an engineer says, "Check the elevation," a team member might not know whether to refer to the architectural drawing or measure the height above sea level.
5. *The word "concrete"*
   - In construction: A material composed of cement, sand, gravel, and water (e.g., reinforced concrete).
   - In a figurative sense: Something clear and tangible (e.g., a concrete idea).
   - **Ambiguity**: If an engineer says, "We need something more concrete," a builder may not understand whether they are requesting more clarity or more concrete material.
6. *The word "slab"*
   - In construction: A flat, horizontal piece of concrete (e.g., concrete slab).
   - In general usage: A flat piece of any material (e.g., a slab of marble).
   - **Ambiguity**: If an architect says, "Use a thicker slab," it might be unclear whether they are referring to a concrete slab or a marble slab for the floor.
7. *The word "draft"*
   - In architecture: A preliminary drawing of a project.
   - In linguistics: A preliminary version of a document or text.
   - In HVAC (Heating, Ventilation, and Air Conditioning): An unwanted air flow or draft.

- **Ambiguity**: When an architect says, "Check the draft," it could lead to confusion about whether they mean the architectural drawing or an air circulation problem in the building.

8. *The word "footing"*

- In construction: The base of the foundation of a structure (e.g., isolated footing, strip footing).
- In everyday language: Can refer to the physical balance or position of someone while walking.
- **Ambiguity**: If an engineer says, "Check the footing," a worker might not know if they need to inspect the foundation base or ensure their own safety on site.

9. *The word "section"*

- In architectural drawings: A cut through a building showing internal details (e.g., cross-section, longitudinal section).
- In spatial organization: A divided part of a building or area (e.g., residential section, office section).
- **Ambiguity**: If an architect says, "We need a better section," an engineer may not know if they are referring to the drawing or the spatial division of the building.

10. *The word "tension"*

- In construction: The force that stretches a material (e.g., tensile stress).
- In social relations: A stressful or conflictual situation.
- **Ambiguity**: If an engineer says, "There is too much tension," an uninformed person might not understand whether they are talking about mechanical stress in a structure or a conflict within the team.

In **civil engineering** and **architecture**, lexical ambiguity can lead to significant misunderstandings that may impact safety, communication, and project efficiency. Therefore, it is crucial to use technical terms clearly and ensure the context is understood by all project participants.

2.4 Contextual Meaning

Contextual meaning refers to the ability to understand meaning by integrating linguistic, cognitive, and situational cues (Gee, 2014). In academic and professional environments, effective comprehension requires recognition of discourse structures, identification of key terminologies, and the use of prior knowledge. Grabe and Stoller's (2013) research highlights that direct teaching of contextual inference strategies significantly enhances reading skills in ESP (English for Specific Purposes) learners.

Contextual meaning arises when the meaning of a word or phrase depends on the context in which it is used. In the fields of **civil engineering** and **architecture**, many terms take on different meanings based on the circumstances. Below are several examples of contextual meaning in these fields:

Examples of Contextual Meaning in Construction and Architecture

1. ***The word "bridge"***

- In construction: A structure connecting two points over a body of water or a road (e.g., "The engineers designed a new suspension bridge").
- In a figurative sense: A way of connecting two concepts or overcoming a communication gap (e.g., "The project aims to bridge the gap between theory and practice").
- In electronics: An electrical connection that helps current flow (e.g., "A bridge rectifier converts AC to DC").
- The context determines whether "bridge" refers to a physical structure, an ideational connection, or an electronic device.

2. ***The word "level"***

- In construction: The height of a building or surface (e.g., "Make sure the floor is level before installing the tiles").
- In education: A stage or degree of knowledge (e.g., "He is at an advanced level in structural engineering").
- In a figurative sense: A state of balance or constancy (e.g., "The discussion remained at a professional level").
- If an engineer says, "Check the level," the worker must understand whether it refers to leveling a surface or measuring height against a reference point.

3. ***The word "load"***

- In structural analysis: The force or weight acting on a structure (e.g., "The building is designed to withstand heavy loads").
- On a construction site: The amount of material being transported (e.g., "The truck is carrying a load of cement").
- In computing: The process of loading data (e.g., "The software takes time to load on the computer").
  If an engineer says, "Reduce the load," without clear context, there may be confusion about whether to reduce the structural load or the amount of materials being transported.

4. The word "foundation"

- In construction: The base part of a structure that supports the entire load (e.g., "The foundation of the skyscraper is made of reinforced concrete").
- In organizations and institutions: A charitable organization or institution (e.g., "The architecture foundation offers scholarships for students").
- In a figurative sense: The basis of an idea or concept (e.g., "Trust is the foundation of a strong relationship").
- In a professional discussion, if someone says, "The foundation must be strong," it is important to clarify whether they are referring to the physical structure or the basis of an organization or concept.

5. The word "section"

- In architecture: A drawing showing a cut through a building (e.g., "The blueprint includes a cross-section of the building").
- In urban planning: A divided part of an urban area (e.g., "The industrial section of the city is expanding").
- In books and documents: A chapter or part of a text (e.g., "Refer to section 5 for more details").
  If an architect mentions, "We need a new section," it should be understood whether they are referring to an architectural drawing, a division of an urban area, or a part of a report.

6. The word "span"

- In structural engineering: The distance between two supports of a bridge or structure (e.g., "The bridge has a span of 50 meters").
- In time: A period of time (e.g., "The project was completed in a span of six months").
- In psychology and cognition: The range of attention or the capacity to retain information (e.g., "His attention span is very short").
- If an engineer talks about "span," it must be clear whether they are referring to a physical distance, a time period, or something else.

7. The word "draft"

- In architecture: A sketch or preliminary drawing (e.g., "The architect presented a draft of the building plan").
- In documentation: A preliminary version of a document (e.g., "He sent me a draft of the contract").
- In HVAC (heating, ventilation, and air conditioning): An unwanted air current (e.g., "There is a cold draft coming from the window").

- If someone says, "Check the draft," without clear context, there may be ambiguity about whether they mean a technical drawing or an air circulation issue.

8. The word "cover"

- In construction: The surface covering, such as a roof or protective layer (e.g., "The roof cover needs to be replaced").
- In insurance: Financial coverage for potential damages (e.g., "Does the insurance cover structural damage?").
- In literature and design: The front page of a book or magazine (e.g., "The magazine cover features a new skyscraper").
- If an engineer asks, "Does this cover the project?" they could be referring to whether there is sufficient physical protection or if all aspects of a plan are included.

Conclusions

The study of meaning in different contexts is a critical field in linguistics and language education. Understanding the semantic flexibility, contextual meaning, polysemy, lexical ambiguity, and contextual understanding enables students to effectively navigate complex texts. Future research should continue exploring pedagogical strategies that facilitate the acquisition of language based on context in specialized fields.

Lexical ambiguity and polysemy present significant challenges for students of architecture and civil engineering in English for Specific Purposes (ESP). Technical terminology often overlaps with general English vocabulary, leading to potential misunderstandings. Additionally, multiple meanings of words within different engineering contexts require students to develop strong contextual interpretation skills.

To overcome these challenges, it is crucial to implement effective strategies such as concept mapping, real-world examples (Realia), and targeted reading techniques like skimming and scanning. Encouraging students to analyze terms within discipline-specific texts, engage in collaborative learning activities such as the Jigsaw method, and use digital tools for terminology clarification can significantly enhance their comprehension and application of technical vocabulary.

Ultimately, fostering contextual awareness and critical reading skills will enable students to navigate technical texts more efficiently and apply their knowledge accurately in professional and academic settings. By integrating these strategies into ESP instruction, educators can support students in mastering the complex linguistic demands of their disciplines.

Bibligraphy

Biber, D., Conrad, S., & Reppen, R. (2002). *Corpus linguistics: Investigating language structure and use*. Cambridge University Press.

Cruse, D. A. (2000). *Meaning in language: An introduction to semantics and pragmatics*. Oxford University Press.

Gee, J. P. (2014). *How to do discourse analysis: A toolkit*. Routledge.

Grabe, W., & Stoller, F. L. (2013). *Teaching and researching reading* (2nd ed.). Pearson Education.

Taylor, J. R. (2003). *Cognitive models in language and thought: Ideology, metaphors and meaning*. Cambridge University Press.

Bell, T. (2016). Academic Literacy in Higher Education. Journal of English for Academic Purposes, 18, 37-49.

Biemans, H. J. A., et al. (2006). The Role of Vocational English Courses in Engineering Education: A Case Study. Journal of Vocational Education & Training.

Booth, W. C., Colomb, G. G., & Williams, J. M. (2008). The Craft of Research. University of Chicago Press.

Breasted, J. H. (1930). *The Edwin Smith Surgical Papyrus*. University of Chicago Press.

Breen, M. P., & Candlin, C. N. (1980). The Essentials of English for Specific Purposes. Longman.

Brierley, D. (2009). ESP: Assessing Students in English for Specific Purposes. Routledge.

Brindly, G. (1989). The role of needs analysis in adult ESL programme design. In Johnson, R. (Ed.), The second language curriculum (pp. 63-78). Cambridge: Cambridge University Press.

BIOMIMETIC NANOCARRIERS INSPIRED BY SQUID PROTEINS: A NEXT-GENERATION APPROACH TO PRECISION ONCOLOGY

Ferdous Ahmad Opi

ABSTRACT

Targeted drug delivery remains a cornerstone in advancing oncological therapeutics, yet conventional methods often face challenges such as low bioavailability, systemic toxicity, and immune clearance. This study introduces a pioneering approach leveraging squid-inspired biopolymeric nanocarriers for enhanced drug delivery in oncology. Squid chromatophore-derived proteins exhibit unique bioadaptive properties, including environmental responsiveness and tunable drug encapsulation capabilities, making them ideal for precision medicine applications. Our research focuses on the fabrication of bioengineered nanocarriers that enhance drug stability, optimize tumor penetration, and minimize off-target cytotoxicity. Preliminary in vitro and in vivo evaluations demonstrate significant improvements in drug retention, controlled release, and tumor specificity. This biomimetic strategy represents a transformative step in nanomedicine, offering an innovative and sustainable platform for personalized cancer therapy.

Keywords: Oncology, Biomimetic Nanotechnology, Squid-Derived Proteins, Targeted Drug Delivery, Precision Medicine

MICROBIAL INFLUENCE ON AUTOIMMUNE PATHOGENESIS: DECIPHERING HOST-PATHOGEN INTERACTIONS FOR NOVEL THERAPEUTIC STRATEGIES

Jannatul Ferdousi

ABSTRACT

Autoimmune diseases result from an aberrant immune response against self-antigens, often triggered by complex genetic and environmental interactions. Recent studies have identified microbial pathogens as key contributors to autoimmune pathogenesis through mechanisms such as molecular mimicry, bystander activation, and epitope spreading. This research investigates the impact of gut microbiota dysbiosis and persistent infections on the immune system, with a focus on their role in diseases like rheumatoid arthritis, systemic lupus erythematosus, and multiple sclerosis. By integrating metagenomics, immunoproteomics, and host-microbe interaction models, we aim to uncover novel diagnostic biomarkers and therapeutic targets. Our findings highlight the potential of microbiome modulation and targeted immunotherapy in mitigating autoimmune responses, offering a paradigm shift in autoimmune disease management.

Keywords: Autoimmune Diseases, Microbiome, Immunoregulation, Host-Pathogen Interactions, Targeted Therapy.

ISOLATION, IDENTIFICATION AND QUANTIFICATION OF THE BACTERIAL POPULATION ON DIFFERENT LOCAL FOOD MILLING OUTLETS IN SWALI MARKET

AKPAN, U.M.
Department of Science Laboratory Technology (Microbiology Unit), Federal Polytechnic, Ekowe, Bayelsa State, Nigeria.

ABSTRACT

Food safety is a critical concern in the food industry, particularly when it involves milling outlets that handle and processed foods. Milling outlets act as intermediaries in the supply chain, delivering food products from producers to consumers. The impact of the milling process on the microbiological quality of milling machines for millet/groundnut, pepper/tomato and bean/corn was investigated. Three (3) out of the several milling machines was sampled at various locations for pepper/tomato (PTMM), bean/corn (BCMM), and millet/groundnut milling machines (MGMM). Sterile swab sticks moistened in peptone water was used to swab the holding compartment, grinding compartment and the discharge route of the milling machines in the early hours in the morning (6.30–7.00am). The bacteria count recorded from all the milling machines ranges from 32 – 96 x 103 CFU/ml. The samples collected from millet/groundnut milling machines was higher, and ranged from 89 – 96 x 103 CFU/ml, followed by samples collected from pepper/tomato milling machines (64 - 71 X 103 CFU/ml), then samples collected from bean/corn milling machines (32 - 41 X 103 CFU/ml). The p-value was 5.6×10^{-6}, indicating a significant difference ($p<0.05$). Results for bacterial prevalence (Table 4.3), showed that *Escherichia coli* was highly abundant from samples with a percentage frequency of 27.7%, followed by *Staphylococcus aureus* (22.2%). The third bacteria in abundant were *Bacillus substilis* (16.7%) and *Proteus mirabilis* (16.7%). The least isolated bacteria were *Shigella sonnie* and *Salmonella enteritidis* with a percentage prevalence of 11.1% and 5.6% respectively. The microbial burden from the various samples demonstrated that the milling operators were not following proper hygiene measures, among others. On the other hand, local millers must be educated on the need to implement stricter steps to prevent microbial contamination in order to safeguard customers from foodborne illnesses and other connected diseases. Because the microbial load was considerable in most instances, it is vital to perform more investigations to determine the health risks connected with these goods. By educating people on sanitary standards and regularly inspecting processing units, we can make sure that the best practices are being followed**.**

Keyword: Milling machine, Contamination, Microbiological quality, Hygiene, Educate.

VACCINE SAFETY

Prince Kumar
Department of Pharmacy, IEC College of Engineering and Technology, Greater Noida,(U.P.), India. 201310

Priya Roy
Govt. P.G College, Sector-39, Noida,(U.P.), India. 201310

ABSTRACT

Assuring that vaccines successfully prevent infectious diseases while lowering the possibility of side effects is the foundation of vaccine safety. To assess their safety effectiveness and possible adverse effects vaccines go through a rigorous testing process both before and after they are licensed which includes clinical trials. The World Health Organization (WHO) the Centers for Disease Control and Prevention (CDC) and the U. S. S. Before approving the Food and Drug Administration (FDA) carefully examines this data. To evaluate long-term safety ongoing monitoring programs such as the Vaccine Adverse Event Reporting System (VAERS) gather information on any reported adverse events after a vaccine is administered. The majority of vaccine side effects are minor and temporary like fatigue fever or injection site soreness. In order to guarantee the continued safety of vaccines serious side effects are uncommon and thoroughly studied. Vaccinations have far more advantages than disadvantages such as preventing serious illness hospital stays and fatalities. Herd immunity is another important benefit of vaccinations which shields susceptible groups from vaccination. Maintaining public trust in vaccine safety requires open communication education and problem-solving. Ultimately a major factor in the accomplishment of international immunization campaigns is vaccine safety.

Keywords: Safety Effectiveness, Carefully Examines, Public Trust, Vaccine Safety, Problem-Solving

POLYMORPHS OF 1-NAPHTHALDEHYDE BASED CHALCONE: SYNTHESIS, SINGLE-CRYSTAL, HIRSHFELD SURFACE, THEORETICAL, AND BIOLOGICAL POTENTIAL INVESTIGATIONS

Akbar Ali
Dr., Department of Chemistry, Government College University Faisalabad, Pakistan

Kainat Zohra
Department of Chemistry, Government College University Faisalabad, Pakistan

Muhammad Zia ul Mustafa
Department of Chemistry, Government College University Faisalabad, Pakistan

ABSTRACT

Polymorphism is the exciting feature of compounds existing in different crystalline forms. The present research is focused on the two polymorphic forms of (*E*)-1-(3-hydroxyphenyl)-3-(naphthalen-1-yl)prop-2-en-1-one obtained by the Claisen-Schmidt condensation reaction of 1-(3-hydroxyphenyl)ethan-1-one and 1-naphthaldehyde. Both polymorphic forms obtained were characterized by single-crystal X-ray diffraction (SC-XRD) analysis. The supramolecular assemblies of both polymorphic forms were found to be stabilized by various intermolecular interactions as was revealed by the Hirshfeld surface analysis. The interaction energy calculations were carried out at B3LYP/6-31G(d,p) level to further investigate the supramolecular assembly of these polymorphs. Moreover, antifungal, antibacterial, and antioxidant activities of these polymorphs were investigated, showing reasonable and a slight different potential of both polymorphs in these areas. Also, density functional theory (DFT) study of both compounds was performed, with analysis of their Natural Bond Orbital (NBO) charges, frontier molecular orbitals (FMOs), molecular electrostatic potentials (MEP), and global reactivity parameters (GRPs). The DFT results showed that both compounds should be thermodynamically stable and would act as noticeably strong electrophilic agents, thus supporting the antioxidant activity studies.

Keywords: Chalcones, polymorphism, SC-XRD, density functional theory, biological potential

PLASMID CURING POTENTIAL OF *NIGELLA SATIVA* ON MULTIDRUG RESISTANT *STAPHYLOCOCCUS AUREUS*

Adeboye, Muhammed Mustapha
Department of Microbiology, Faculty of Science, Confluence University of Science and Technology, Osara Kogi State, Nigeria

ABSTRACT

Multidrug resistant (MDR) bacterial infections pose significant challenges to the public health especially the hospital environment. The study investigate the plasmid curing potential of *Nigella sativa* on multidrug resistant *Staphylococcus aureus* isolated from hospitalized patients. The seed extract of *N sativa* was screened for plasmid curing potential by exposing the isolates to standard antibiotics and subjecting them back to the standard antibiotics after exposure to the extract for reassessment. The *Nigella sativa* post curing treatment of *S aureus* to Levofloxacin 11(91.67%), Amoxicillin 4(33.33%) and *P aeruginosa* to Ofloxacin (87.5%) and Amoxicillin 8(100%). The finding of this study provide insight into the role of plasmid in MDR pathogens and the potential of plant based agents in combating plasmid mediated resistance.

COPPER-MEDIATED N-ARYLATION OF METHYL 2-AMINOTHIOPHENE-3-CARBOXYLATE WITH ORGANOBORON REAGENTS

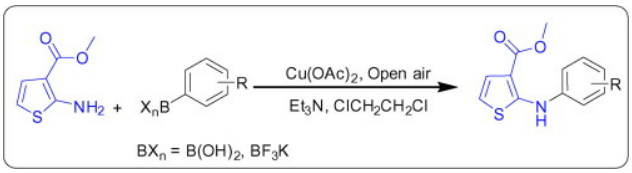
Rehana Riaz
Department of Chemistry, Government College University Faisalabad, Faisalabad 38000, Pakistan

Saima Bibi
Department of Chemistry, Government College University Faisalabad, Faisalabad 38000, Pakistan

Muhammad Zubair
Department of Chemistry, Government College University Faisalabad, Faisalabad 38000, Pakistan

ABSTRACT

A practical protocol for the synthesis of N-arylated methyl 2-aminothiophene-3-carboxylate has been developed via Chan–Lam cross-coupling. The desired products were synthesized by cross-coupling of methyl 2-aminothiophene-3-carboxylate with both arylboronic acids and potassium aryltrifluoroborate salts in moderate to good yields. A broad range of functional groups was well tolerated.



FRAILTY AND SARCOPENIA PROGRESSION IN HEMODIALYSIS PATIENTS: INSIGHTS FROM ANGOLAN ARMY CLINICS

Ruth Pedro
Physiotherapist, Universidade Privada de Angola

Rita Bárbara
Professor of Physiotherapy, Universidade Privada de Angola

Silvana Rocha da Silveira
Professor of Physiotherapy, Universidade Privada de Angola

ABSTRACT

Introduction

Frailty and sarcopenia are common and interconnected conditions in patients with end-stage chronic kidney disease (CKD), especially those undergoing hemodialysis (HD). Sarcopenia accelerates due to inflammation, malnutrition, and metabolic stress, while frailty exacerbates vulnerability to functional decline. Together, these syndromes significantly impact the quality of life and survival of CKD patients, emphasizing the need for targeted interventions.

Objective

To analyze the progression of frailty and sarcopenia in CKD patients undergoing hemodialysis in army clinics in Luanda, focusing on the relationships between functional capacity, muscle strength, and treatment duration.

Methodology

This descriptive cross-sectional study included 51 advanced-stage CKD patients undergoing HD. Functional and clinical parameters were assessed, including calf circumference, handgrip strength, and pain intensity. Relationships between these parameters and age, dialysis duration, and frailty indicators were analyzed.

Results

The mean age of participants was 47.9 ± 11.2 years, with calf perimeter averaging 31.94 ± 2.91 cm and handgrip strength at 23.52 ± 8.99 kg. Pain intensity, evaluated via the Visual Analogue Scale (VAS), averaged 1.86 ± 2.41. Longer dialysis duration positively correlated with calf circumference but negatively affected handgrip strength, a key indicator of sarcopenia. Age also negatively correlated with handgrip strength, suggesting accelerated sarcopenia and frailty in older patients. These findings align with the known progression of frailty and sarcopenia in CKD, underscoring the need for early interventions to mitigate functional decline.

Discussion

The results highlight the dual burden of frailty and sarcopenia in CKD patients on HD. Sarcopenia, exacerbated by chronic inflammation and malnutrition, manifests as reduced muscle strength and endurance. Frailty further complicates this condition, increasing the risk of falls, hospitalizations, and mortality. Strategies to counteract these effects include targeted physiotherapy programs, resistance training, and nutritional support to preserve muscle mass and improve functional outcomes.

Conclusion

Frailty and sarcopenia are significant challenges for CKD patients undergoing HD, driving functional decline and reducing quality of life. Addressing these syndromes requires comprehensive interventions to improve muscle strength, nutritional status, and overall resilience. Public health efforts should focus on early detection and management of sarcopenia and frailty, emphasizing the importance of physical activity and diet in this vulnerable population.

Keywords: Chronic Kidney Disease, Frailty, Sarcopenia, Hemodialysis, Muscle Strength, Angola

PLASTICS WASTE AND ITS EFFECTS ON ENVIRONMENTAL ASPECTS: A SCIENTIFIC ANALYSIS AND COMPREHENSIVE REVIEW

Subhashish Dey
Department of Civil Engineering, Gudlavalleru Engineering College, Andhra Pradesh, India

ABSTRACT

Ever since previous several decades, there has been a severe problem with plastic waste disposal and contamination due to the unchecked use of plastics for a variety of uses, including packaging, transportation, manufacturing, and agricultural in rural as well as urban regions. It takes about one hundred years for plastic bags to decompose in an effective manner. Plastic contributes to environmental degradation and exacerbates the issue of climate change not only because it exacerbates the waste management problem and land filling but also because its combustion releases carbon dioxide and dioxins into the atmosphere. It has been shown that the techniques currently used for the disposal of plastic are insufficient for the efficient management of plastic waste; as a result, there is a rising worry about the utilization of effective microorganisms that are intended for the biodegradation of synthetic polymers that are not biodegradable. Microbes have the capacity to degrade the majority of inorganic and organic materials, including lignin, starch, cellulose, and hemicelluloses. Biodegradable polymers are engineered to break down quickly in the presence of microbes because of this ability. Within the scope of this review, topics covered include the current state of affairs, processes of degradation process of plastics, methodologies for characterizing deteriorated polymers, and variables that impact the biodegradation of plastics.

Keywords: Plastics, Biodegradable polymers, Waste management, Decomposition, Microorganism and Degradation.

ALÇAK GERILIM DAĞITIM ŞEBEKELERINDE NÖTR KOPUKLUĞUNUN ALGILANMASI

DETECTION OF NEUTRAL DISCONNECTION IN LOW VOLTAGE DISTRIBUTION NETWORKS

Murat İŞİVAR
Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Firat University, Engineering Faculty, Department of Electrical and Electronics Engineering
ORCID ID: 0009-0002-8600-6982

Mehmet CEBECİ
Prof., Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Prof., Firat University, Engineering Faculty, Department of Electrical and Electronics Engineering
ORCID ID: 0000-0002-2971-6788

ÖZET

Alçak gerilim dağıtım şebekelerinde nötr hattının kopması, elektrik sistemlerinde ciddi arızalara ve güvenlik risklerine yol açmaktadır. Özellikle nötr kopmasının meydana geldiği nokta ve tüketiciye olan mesafesi, oluşabilecek zararların büyüklüğünü belirleyen önemli faktörlerdir. Bu nedenle, nötr iletkeninin sürekli olarak izlenmesi, koruma ekipmanlarının etkin kullanılması ve sistemin düzenli olarak denetlenmesi gerekmektedir.

Bu çalışma, alçak gerilimli elektrik dağıtım şebekelerinde nötr kopukluğu arızasının erken tespit edilmesi ve cihaz hasarlarının önlenmesi için etkili bir çözüm sunmaktadır. Çalışmada, nötr kopmalarını algılayan bir sistem tasarlanarak, test ve uygulama çalışmaları için gerekli teçhizatın yer aldığı deneysel bir yapı gerçekleştirilmiştir. Ayrıca Matlab Simulink ortamında örnek bir alçak gerilim elektrik dağıtım sistemi modellenmiş ve nötr kopmasının tüketicilere olan etkileri analiz edilerek, nötr kopması çalışmaları simülasyonla desteklenmiştir.

Geliştirilen mikroişlemci tabanlı algılama sistemi, nötr kopması sonucu ortaya çıkan aşırı gerilimlerin tespitine dayalı olarak çalışmaktadır. Sistem; faz-nötr, faz-faz ve nötr-toprak gerilimlerini online izleyerek, olası bir nötr kopması durumunda erken uyarı ve devre açma mekanizmalarını harekete geçirmektedir. Geliştirilen sistemin temel hedefi; nötr kopması arızalarının erken tespit edilmesini sağlayarak, elektrikli cihazların zarar görmesini önlemek, hızlı müdahele için uyarı sinyali göndererek enerji sürekliliğine katkı sağlamak, hem bireysel kullanıcıların ve hem de sanayi tesislerinin güvenliğini artırmaktır. Yapılan simülasyonlar ve deneysel çalışmalar sonucunda, önerilen sistemin nötr kopmalarını yüksek doğrulukla tespit edebildiği ve etkin bir koruma sağladığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Nötr kopması, aşırı gerilim, gerilim dalgalanmaları, koruma sistemleri.

ABSTRACT

The disconnection of the neutral line in low-voltage distribution networks causes serious faults and safety risks in electrical systems. The location of the neutral disconnection and its distance from the consumer are significant factors determining the severity of potential damages. Therefore, continuous monitoring of the neutral conductor, effective use of protection equipment, and regular system inspections are essential.

This study presents an effective solution for the early detection of neutral disconnection faults in low-voltage electrical distribution networks and the prevention of device damages. A system capable of detecting neutral disconnections was designed, and an experimental setup was implemented, including the necessary equipment for testing and application studies. Additionally, a sample low-voltage electrical distribution system was modeled in the Matlab Simulink environment, and the effects of neutral disconnection on consumers were analyzed, supporting the study with simulations.

The developed microprocessor-based detection system operates based on identifying overvoltages caused by neutral disconnection. The system continuously monitors phase-to-neutral, phase-to-phase, and neutral-to-ground voltages online, triggering early warning and circuit-breaking mechanisms in case of a potential neutral disconnection. The primary objective of the developed system is to ensure the early detection of neutral disconnection faults, prevent damage to electrical devices, and contribute to energy continuity by sending warning signals for quick intervention, thereby enhancing the safety of both individual users and industrial facilities. The results of simulations and experimental studies demonstrate that the proposed system can detect neutral disconnections with high accuracy and provide effective protection.

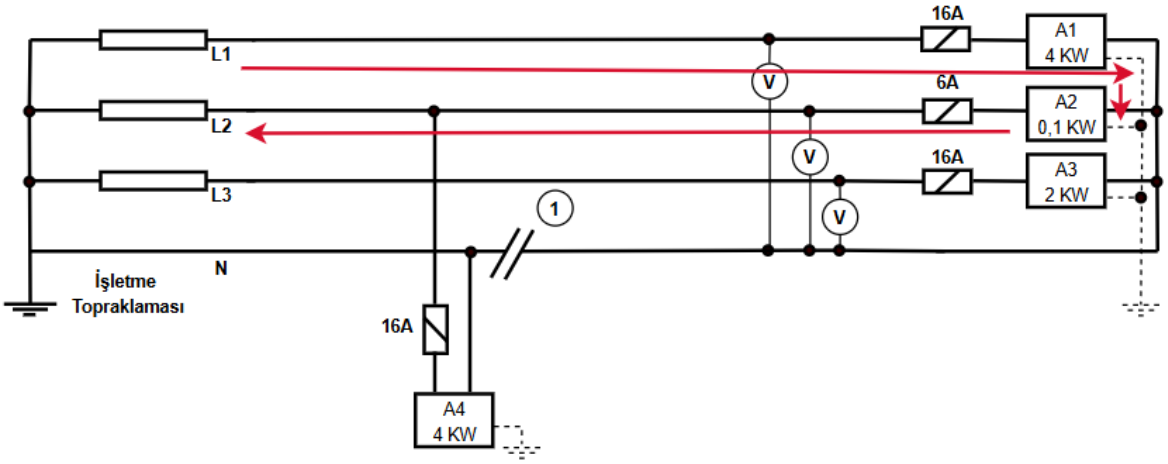
Keywords: Neutral disconnection, overvoltage, voltage fluctuations, protection systems.

1. GİRİŞ

Alçak gerilim dağıtım şebekeleri, konutlar, ticaret merkezleri ve endüstriyel tesisler için enerji sağlayan temel ağlardır. Alçak gerilim dağıtım şebekelerinde 3 fazlı yüklerden ziyade 1 fazlı yükler daha fazladır ve bu yüklerin hat fazlarına dengeli bir şekilde dağıtılması çok önemlidir [1] . Dağıtım şirketleri, tek fazlı müşterileri fazlar arasında uygun şekilde dağıtmaya çaba gösterse de farklı müşterilerin rastgele tüketimi, şebekede dengesizliklere yol açmaktadır. Bu dengesizlikler, düğümlerdeki üç fazın akımlarının toplamının sıfır olmamasıyla sonuçlanır ve bu nedenle, düğüm voltajlarını dengeleyerek çalışma marjlarını koruyan nötr iletken üzerinden hat başına geri dönüş akımı oluşur [2]. Bu şebekelerde nötr iletkeni, canlı ve geri dönüş hatları arasındaki dengeyi sağlar. Nötr iletkenin kopması, sistemde gerilim dengesizlikleri ve aşırı gerilimler gibi ciddi sorunlara yol açabilir. Arıza durumunda faz-nötr gerilimleri dengesiz hale gelecek, bazı fazlarda aşırı gerilim diğer fazlarda düşük gerilimler

oluşacaktır. Bu durum, bireysel kullanıcılar, endüstriyel tesisler ve hassas elektronik cihazlar için ciddi riskler taşımaktadır. Şebekenin güvenliği tehlikeye girebilir, sisteme bağlı cihazlarda hasarlar oluşabilir [3]. Nötr kopmalarının tespiti genellikle manuel kontrollerle yapılmaktadır.

4 aboneli bir şebekede nötr kopması örneğini Şekil 2'de gösterilmiştir. Normal durumda A1 ve A2'nin devrede olduğunu, A3'ün devrede olmadığını varsayalım. ① ile gösterilen yerde oluşacak bir nötr kopması A1 ve A2 tüketicileri üzerinde fazlar arası gerilim oluşmasına sebep olurken, arıza yerinden önce olan A4 tüketicisi arızadan etkilenmeyecektir.



Şekil 1. Şebekede ① noktasında meydana gelen nötr kopmasından dolayı A1 ve A2 alıcılarında oluşan akım akışı

A1 ve A2 tüketicilerinin dirençleri hesaplandığında;

$$R_{A1} = \frac{V^2}{P} = \frac{230V^2}{4000W} = 13{,}225\ \Omega$$

$$R_{A2} = \frac{V^2}{P} = \frac{230V^2}{100W} = 529\ \Omega$$

Bu durumda L1-L2 hattında oluşan yeni devrenin toplam direnci (R_T):

$$R_T = R_{A1} + R_{A2} = (13{,}225\Omega + 529\Omega) = 552{,}225\ \Omega' dur$$

Devreden geçen akım (I_T):

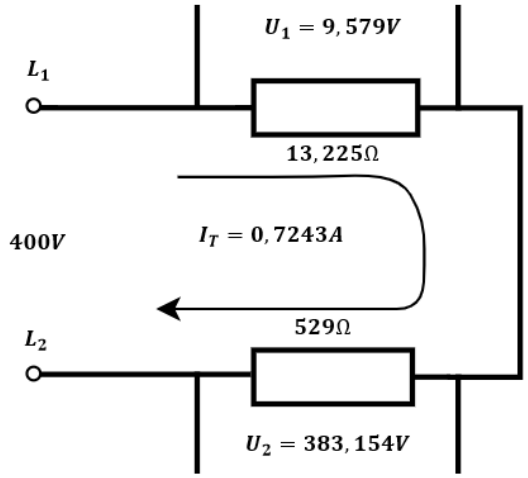
$$I_T = \frac{400V}{552{,}225\Omega} = 0{,}7243\ A'\text{dir.}$$

A1 tüketicisi üzerinde oluşacak U1 gerilimi;

$U_1 = 0{,}7243\ x\ 13{,}225 = 9{,}579\ V$ (4000 W'lık tüketici üzerindeki gerilim düşümü)

A2 tüketicisi üzerinde oluşacak U2 gerilimi;

$U_2 = 0{,}4243\ x\ 529 = 383{,}154\ V$ (100 W'lık tüketici üzerindeki gerilim düşümü) olarak hesaplanmıştır. Nötr kopması durumunda oluşan devre şekli ve tüketiciler üzerinde düşen gerilimler Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 2. ① Noktasında meydana gelen nötr kopmasından dolayı A1 ve A2 alıcılarında oluşan devre şeması ve tüketici üzerlerinde düşen gerilimler

Nötr kopması ve gerilim dengesizliklerinin tespiti konusunda literatürde farklı yaklaşımlar bulunmaktadır. Mevcut koruma yöntemleri olarak, genellikle kaçak akım röleleri, termik manyetik şelterler ve sigortalar ile koruma sağlamaktadır. Ancak, bu sistemler nötr kopmasını doğrudan algılayamadığından dolayı, daha gelişmiş izleme sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Son yıllarda, Gelişmiş Sayaç Altyapısı (AMI), Ek Cihazlar Kullanımı ve Fazör Ölçüm Birimleri (PMU) ile takip gibi sistemler daha hassas tespit imkânı sunsa da, bu yöntemler yüksek maliyetleri nedeniyle yaygın olarak kullanılamamaktadır. Gelişmiş sayaç altyapısı ile kontrol, güç ve düğüm gerilimleri gibi akıllı sayaçlar tarafından yaygın olarak alınan ölçümler, yapay zeka ile geliştirilen sinir ağı tabanına dayalı bir metodoloji ile nötr iletken kopmalarının tespiti ve lokalizasyonu için kullanılmaktadır [2]. Fazör ölçüm birimleri ile kontrolde, yük tarafında nötr kopması durumunda voltaj ve akım kare dalgasını elde etmek için Çift yönlü sıfır faz yönteminin kullanılmasıdır. Elde edilen her dalga örneklenir ve faz farkı, besleme tarafının gücünü kesmek ve otomatik korumayı sağlamak için nötr akım değişim tespiti ile birleştirilip mikrobilgisayar kontrol sistemi ile takip ve koruma sağlanır [3]. Ancak bu sistemler, altyapı gereksinimleri ve maliyetleri nedeniyle her seviyede uygulanabilir çözümler sunamamaktadır.

Literatürde önerilen bir diğer yöntem ise ek bir cihaz kullanımıdır. Bu yaklaşım, nötr kopmasını, gerilim dengesizliğini ve aşırı gerilimi tespit edebilen özel olarak tasarlanmış cihazların şebekeye entegre edilmesini içermektedir [4–9]. Bu tür cihazlar genellikle harmonik analizi, empedans değişimi ve anormal akım-gerilim dalgalanmalarını izleyerek arızaları belirler. Ancak, bu tür sistemlerin ticari uygulamaları yüksek maliyetli olabilir ve

geniş çapta yaygınlaştırılması altyapısal değişiklikler gerektirebilir. Yayınlanmış nötr kopması algılama yöntemleri özet tablosu Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Yayınlanmış Nötr Kopması Algılama Yöntemlerinin Özet Tablosu.

YÖNTEM	[2]	[4], [9]	[5], [6]	[7], [8]	[10]	[11]	[12]	[13]	[14]	[15]
Dönem	2019	2024	2005-2007	2017-2018	2019	2013	2024	2021	2024	2019
Ana Değişkenler	V_{PN}, I	V, I	I	I	V_{PN} I	V_{PP}, P	V, P, Q	V_{PH}I	I	V_{PN}I
3PH4W için uygulanabilir	Evet	Evet	-	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet	-	Evet
1/2PH3W için uygulanabilir	-	-	Evet	Evet	-	-	-	-	Evet	-
Yeni Donanım Gerekir mi?	-	Evet	Evet	Evet	-	-	-	Hayır	Hayır	-
Tespit Süresi	-	-	-	2-3 gün	≤10 dk	≥1 hafta	1 gün	-		≤1 sn
Hatalı Alarm Olasılığı	-	-	-	-	-	-	-	1.5e-2	≤4e-4	-

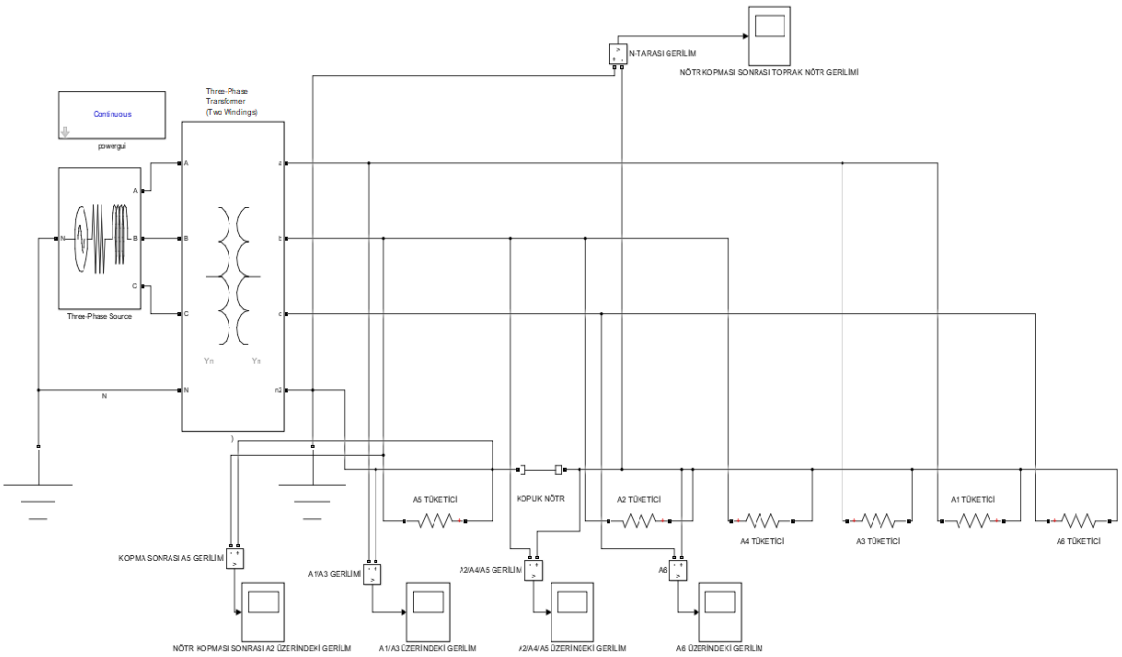
Mikrodenetleyici tabanlı cihazlar, alçak gerilim şebekelerindeki bu tür sorunları tespit etmede önemli avantajlar sunmaktadır. Gerilim izleme sistemleri, anormallikleri gerçek zamanlı olarak tespit ederek şebekenin daha güvenli hale gelmesini sağlar.

Bu çalışmanın amacı, nötr kopmasını tespit edebilen, gerilim dengesizlikleri ve aşırı gerilim durumlarını izleyebilen mikrodenetleyici tabanlı bir sistem geliştirmektir. Sistemin geliştirilmesi ve test edilmesi, şebekelerin güvenliğini artırmak için önemli bir adım olacaktır.

2. NÖTR KOPMASININ SİMÜLASYON YOLUYLA İNCELENMESİ

Nötr kopmasının tüketicilere etkilerini analiz etmek amacıyla bir alçak gerilim dağıtım şebekesi Matlab Simulink ortamında modellenmiştir. Şekil 1'de gösterilen şebekenin bir benzeri olarak Şekil 3.'te 6 aboneli bir model tasarlanmış ve simüle edilmiştir. Simülasyonlarda, çeşitli nötr kopma senaryoları oluşturularak, gerilim değişimleri ve sistemin tepkileri incelenmiştir.

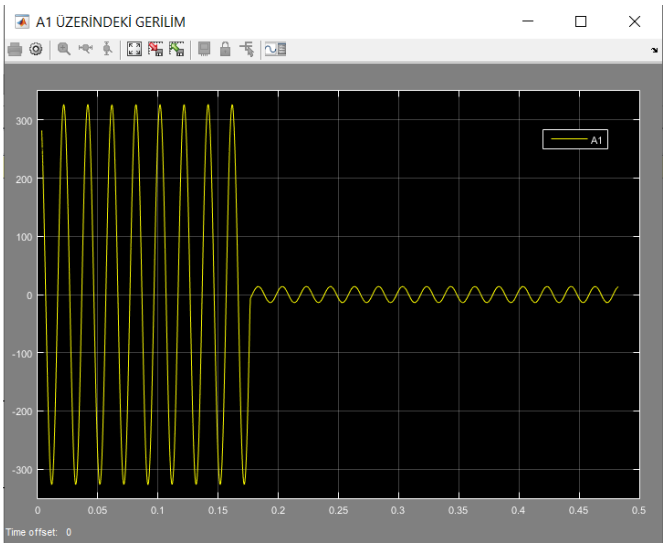
Simülasyon modeli, üç fazlı bir alçak gerilim dağıtım şebekesi ile nötr hattı arasındaki gerilim ilişkilerini analiz etmek üzere tasarlanmıştır. Modelde, nötr hattının kopması durumunda dengeli yük ve dengezsiz yük durumuna göre faz gerilimlerindeki değişimler incelenmiştir. Ayrıca, gerilim değişimlerinin belirlenmesi için faz-nötr ve faz-faz gerilim değerleri anlık olarak ölçülmüştür. Simülasyon tasarımında A2 ve A5 tüketicileri arasındaki nötr hattı üzerine bir anahtar konulmuştur. Normal çalışma sürerken 10.saniyede bu anahtar çalışarak, nötr devresini açmaktadır. Simülasyon devresinden alınan ölçümlerin sonucunda, Şekil 2'de gösterilen ve hesaplamalar ile elde edilen aynı gerilim değerlerine ulaşılmıştır.



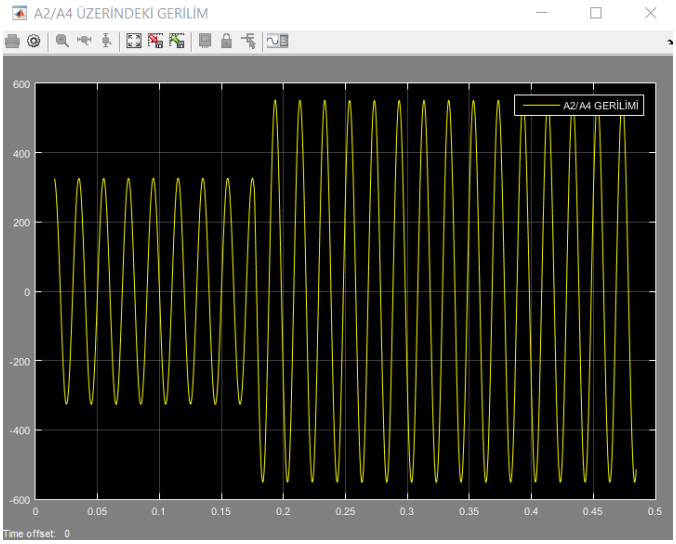
Şekil 3. 6 Aboneli bir şebekede nötr kopukluğunu inceleyen matlab modeli

Simülasyon çalıştırılıp elde edilen veriler incelendiğinde, sistemin ilk 10 saniye boyunca anma geriliminde çalışmakta olduğu, daha sonra nötr hattı üzerindeki elemanın nötr hattını açması sonucu tüketiciler üzerindeki gerilimlerin değiştiği görülmektedir (Şekil 4, Şekil 5).

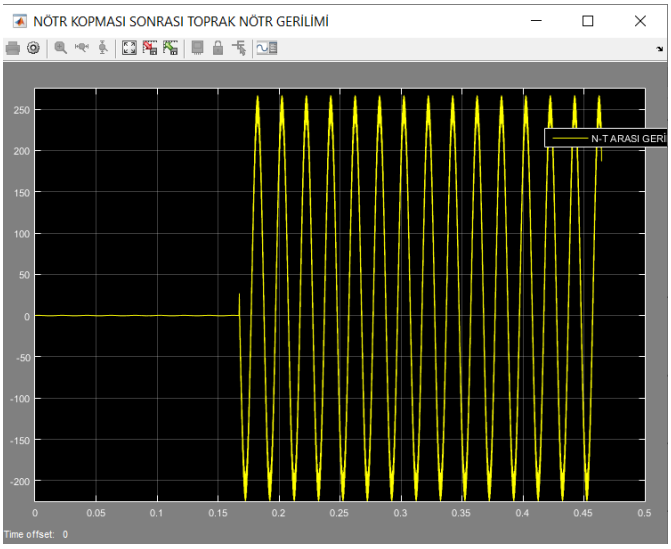
Şekil 6'da ise, nötr kopması arızası durumunda nötr hattı ile toprak hattı arasında oluşan gerilimin değişimi görülmektedir. Normal çalışma durumunda sıfıra yakın olan bu gerilim değeri arıza durumunda çok yüksek değerlere çıkmaktadır. Bu da gerek teçhizat ve cihazlar gerekse insan hayatı için tehlikeli durumlar ortaya çıkarmaktadır.



Şekil 4. Nötr kopması sonrası A1 ve A3 tüketicisi üzerinde düşen gerilim



Şekil 5. Nötr kopması sonrası A2 ve A4 tüketicileri üzerinde düşen gerilim



Şekil 6. Nötr kopması sonrası nötr-toprak arasındaki gerilim

3. NÖTR KOPUKLUĞUNU ALGILAYAN SİSTEMİN TASARIMI

Geliştirilen sistem, bir mikrodenetleyici birimi (MCU), gerilim sensörleri ve kontrol rölesi elemanlarından oluşmaktadır. Gerilim sensörleri, dağıtım şebekesindeki belirli noktalarda faz-nötr ve nötr-toprak gerilimlerini sürekli izler. Bu sensörler, şebekede herhangi bir gerilim dengesizliği veya aşırı gerilim tespit ettiğinde, mikrodenetleyici birimi devreye girer ve sistemin durumunu değerlendiren bir uyarı üretir. Sistem ayrıca, operatörlere uyarı göndermek için bir haberleşme modülüne sahiptir ve aynı zamanda gerçek zamanlı gerilim verilerini ekranda gösterir.

Mikrodenetleyici seçimi, düşük güç tüketimi, hızlı işlem kapasitesi ve esneklik göz önünde bulundurularak yapılmıştır. Ayrıca, sistemin şebeke verisi ile doğru şekilde iletişim kurabilmesi için uygun gerilim sensörleri kullanılmıştır.

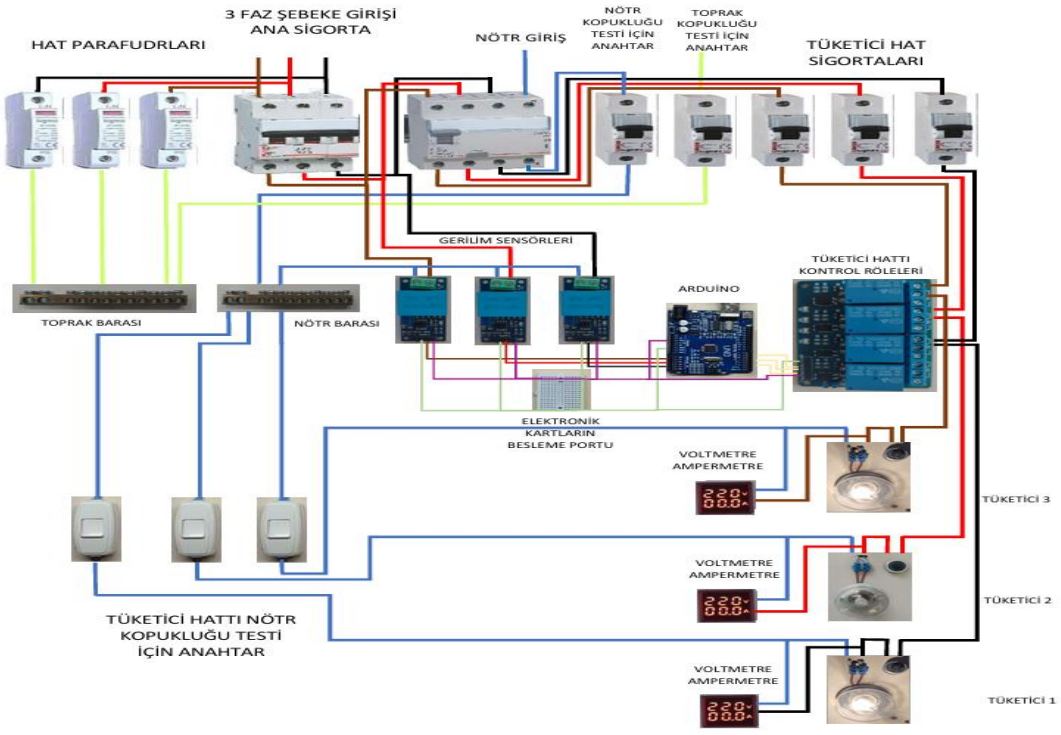
Bu tasarımda, kullanıcı dostu bir arayüz ve hızlı bir uyarı sistemi geliştirilmiştir. Yazılım tasarımı, cihazın doğru bir şekilde çalışabilmesi için gereken algoritmaları içerirken, donanım tasarımı da cihazın dayanıklı ve uzun ömürlü olmasını sağlamak amacıyla optimize edilmiştir.

Nötr hattının kopması, özellikle dengesiz yük dağılımı olan sistemlerde gerilim sapmalarına yol açarak elektrikli cihazların zarar görmesine neden olduğundan, bu durumu tespit edebilmek için sistemde sürekli gerilim ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

Geliştirilen sistem, WEMOS D1 R32 mikrodenetleyici kartı ve ZMPT101B gerilim sensörleri kullanarak faz-nötr ve nötr-toprak gerilimlerini sürekli olarak izlemektedir. Sistemin temel bileşenleri şunlardır:

- Gerilim Sensörleri: Gerilim ölçümleri için ZMPT101B gerilim sensörleri kullanılmıştır.
- Mikrodenetleyici Kartı: Arduino tabanlı WEMOS D1 R32 kartı kullanılmıştır.
- Koruma Devresi: Röleler aracılığıyla Kaçak Akım Rölesi tetiklenerek sistem koruma altına alınmaktadır.
- Veri Kayıt ve Görselleştirme: Google Sheets ve ThingSpeak platformları aracılığıyla anlık veri takibi yapılmıştır.

Sistemin farklı dağıtım şebekelerine entegrasyonu oldukça kolaydır ve herhangi bir önemli değişiklik gerektirmez. Şekil 7'de, geliştirilen sistemin test edilmesini de sağlayan devre bağlantısı gösterilmektedir.



Şekil 7. Nötr Arızası Tespit Sisteminin Örnek Bir Dağıtım Şebekesine Bağlantısı

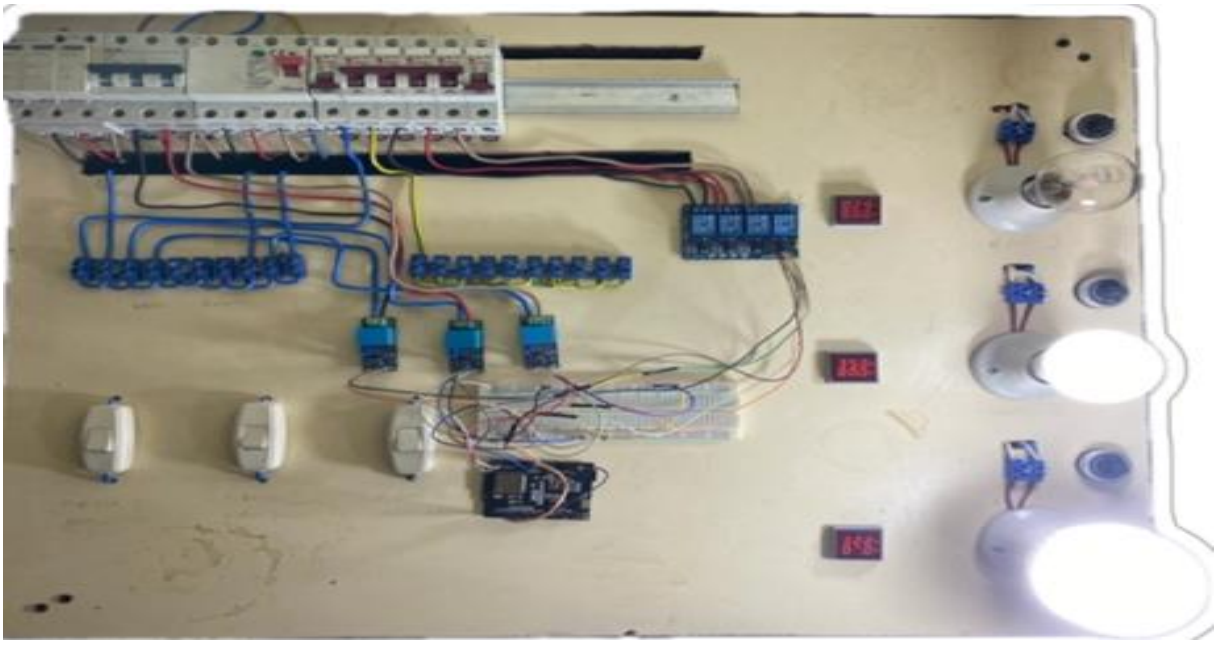
4. TESTLER VE ARAÇLAR

Geliştirilen cihazın etkinliği, alçak gerilim şebekesindeki nötr kopması, gerilim dengesizliği ve aşırı gerilim gibi farklı arıza koşulları altında test edilmiştir. Bu testler, cihazın tespit doğruluğunu ve cevap süresini ölçmek için gerçekleştirilmiştir. Testler, geleneksel tespit yöntemleriyle karşılaştırılarak, mikrodenetleyici tabanlı cihazın performansı değerlendirilmiştir.

Testlerin doğruluğunu ve etkinliğini değerlendirmek için kullanılan araçlardan biri Google Sheets'tir. Bu araç, cihazın topladığı verileri hızlı bir şekilde depolamak ve analiz etmek için kullanılmıştır. Gerilim verileri, her test aşamasında Google Sheets'e aktarılarak, zaman içinde gerilim değişimlerinin takibi yapılmıştır. Ayrıca, ThingSpeak platformu da test sürecinde aktif olarak kullanılmıştır. ThingSpeak, cihazın gerçek zamanlı veri akışını izlemek ve verileri bulutta depolamak için kullanılan bir IoT (nesnelerin interneti) platformudur. Bu platform, cihazın gerilim verilerini uzaktan izlemeye ve verilerin herhangi bir zamanda erişilmesini sağlamaya olanak tanımıştır.

Testler sonucunda, mikrodenetleyici tabanlı cihazın gerilim dengesizliğini ve aşırı gerilimi yüksek doğrulukla tespit edebildiği belirlenmiştir. Geliştirilen devre gerilim anormalliklerine hızlı bir şekilde tepki vererek müdahale süresini kısaltmaktadır.

Geliştirilen cihaz ile tasarlanan devre üzerinde oluşturulan nötr kopması arızası durumunda oluşan devre görüntüsü Şekil 8'de ThingSpeak platformuna aktarılan veriler Şekil 9'da, Google Sheet'e aktarılan veriler ise Şekil 10'da gösterilmiştir.



Şekil 8. Nötr Kopma Arızasında Tasarlanan Devre Görüntüsü

TARİH SAAT	FAZ 1 - NÖTR	FAZ 2 - NÖTR	FAZ 3 - NÖTR	# HATA KODU	SİSTEM DURUMU
11.01.2025 22:15:34	214.35	215.62	216.80	0	Normal Çalışma
11.01.2025 22:15:59	214.71	215.62	217.17	0	Normal Çalışma
11.01.2025 22:16:15	215.08	214.17	216.80	0	Normal Çalışma
11.01.2025 22:16:34	217.71	216.98	216.62	0	Normal Çalışma
11.01.2025 22:17:00	209.26	210.35	209.53	1	Nötr Kopması Arızası
11.01.2025 22:17:15	209.26	210.35	209.53	1	Nötr Kopması Arızası
11.01.2025 22:17:35	216.89	219.71	216.89	0	Normal Çalışma
11.01.2025 22:18:00	217.35	217.44	217.35	0	Normal Çalışma
11.01.2025 22:18:14	217.35	217.44	217.35	0	Normal Çalışma

Şekil 9. Nötr Kopma Arızasında Google Sheet'e Aktarılan Veri



Şekil 10. Nötr Kopma Arızasında ThingSpeak Platformuna Aktarılan Veri

Mevcut sistemin daha da geliştirilmesi için aşağıdaki öneriler değerlendirilebilir:

- Kablosuz Haberleşme Entegrasyonu: Wi-Fi veya GSM modülleri kullanılarak sistemin uzaktan kontrol edilebilmesi.
- Yapay Zeka Destekli Analiz: Gerilim dalgalanmalarının istatistiksel analizi ve anomali tespiti için makine öğrenimi algoritmalarının entegrasyonu.
- Akıllı Uyarı Sistemi: Cihazın mobil uygulama veya e-posta bildirimleri ile anlık uyarılar göndermesi.

5. SONUÇ

Mevcut yöntemlerin çoğu, manuel kontrol veya maliyeti çok yüksek olan cihazlara dayanır. Bu da daha yavaş bir tepki süresi ve maliyet yükü oranlarıyla sonuçlanır. Bu çalışmada geliştirilen mikrodenetleyici tabanlı nötr kopması tespit sistemi, alçak gerilim dağıtım şebekelerinin güvenliğini artırmak için etkili bir çözüm sunmaktadır. Mikrodenetleyici tabanlı sistemin cevap süresi 2 s ve doğruluk oranı da %97 seviyelerindedir. Sistem aynı zamanda gerilim dengesizliklerini ve aşırı gerilimleri gerçek zamanlı olarak tespit edebilme yeteneği ile öne çıkmaktadır. Hızlı tepki süresi ve yüksek doğruluğu, cihazın alçak gerilim şebekelerinde başarılı ve etkin bir şekilde çalıştığını göstermektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (FÜBAP) tarafından MF.25.05 no.lu Araştırma Projesi olarak desteklenmiştir.

6. KAYNAKLAR

[1] Effect Of Neutral Loss In 3-Phase LV Networks, n.d.

[2] M.S. Hernández, A Neurtal Network-Based Classifier For Identifying and Locating Neutral wire Breaks In Low Voltage Distribution Networks, Lenguas Modernas (2023) 183–209. https://doi.org/10.13039/501100011033.

[3] G. Luo, W. Zhang, J. Yin, Automatic Protection System of Neutral Wire-broken based on Supply-side Protection, International Journal of Control and Automation 8 (2015) 245–250. https://doi.org/10.14257/ijca.2015.8.3.25.

[4] C. Pechlivanis, N. Rigogiannis, A. Tichalas, S. Frantzeskakis, C. Christodoulou, N. Papanikolaou, Active Fault Detection Device for LV Electrical Installations with Goertzel-Based Impedance Estimation and IoT Connectivity †, Engineering Proceedings 60 (2024). https://doi.org/10.3390/engproc2024060022.

[5] S. Frantzeskakis, N. Rigogiannis, C. Christodoulou, N. Papanikolaou, On the Detection of Neutral Loss, Islanding, and Meter Tampering in Electrical Installations, IEEE Open Journal of the Industrial Electronics Society 5 (2024) 1–12. https://doi.org/10.1109/OJIES.2024.3354799.

[6] US Patent Application Publication US20050243485A1patent, (n.d.).

[7] US Patent Application Publication US 2007/0236845 A1 Oct.11,2007, n.d.

[8] Y.J. Jiang L., 2017 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, IEEE, 2017.

[9] L. Jiang, J. Yong, Validation of the Harmonic-Based Method for Detecting Open-Neutral Fault in Low-Voltage Systems, in: IEEE Trans Ind Appl, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2018: pp. 3145–3152. https://doi.org/10.1109/TIA.2018.2814562.

[10] C.D. Halevidis, E.I. Koufakis, Power Flow In PME Distribution Systems During an Open Neutral Condition, IEEE Transactions on Power Systems 28 (2013) 1083–1092. https://doi.org/10.1109/TPWRS.2012.2215967.

[11] W.J. Chan, Broken Neutral Classification through Anomaly Detection using Features based on Voltage and Current Observations, in: 2021 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies - Asia, ISGT Asia 2021, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2021. https://doi.org/10.1109/ISGTASIA49270.2021.9715604.

[12] M.H. Alrashdan, M.H. Al-rashdan, A.M. Al-sharqi, Neutral Floating Problem Eliminination In Three Phase Four Line Power Distribution System Using Grounding The Neutral Transformer Line, 2019. http://ijieee.org.

[13] Methods To Identify Broken Neutral Fault In LV Distribution Grids By Using Existing Smart Meters Infrastructure Christoforos Menos-Aikateriniadis, n.d.

[14] I. Vicente, A. Arrinda, J.E. Rodriguez-Seco, L. Piyasinghe, Floating Neutral Detection Using Actual Generation of Form 2S Meters, IEEE Open Access Journal of Power and Energy (2024). https://doi.org/10.1109/OAJPE.2024.3455756.

[15] Piyasinghe, Application Data (63) Continuation In Part Of Application No. 15 / 219, 2016.

DETECTION OF HIP DYSPLASIA FROM X-RAY IMAGES WITH DEEP LEARNING

DERİN ÖĞRENME İLE X-RAY GÖRÜNTÜLERİNDEN KALÇA DİSPLAZİSİNİN TESPİTİ

Emine ULUSOY
Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Bilimleri Anabilim Dalı
Kütahya Dumlupınar University, Faculty of Engineering Department of Computer Science
ORCID ID: 0009-0001-5059-704X

Durmuş ÖZDEMİR
Doç. Dr. , Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Bilimleri Anabilim Dalı
Assoc. Prof. Dr., Kütahya Dumlupınar University, Faculty of Engineering, Department of Computer Science
ORCID ID: 0000-0002-9543-4076

ÖZET

Literatür incelendiğinde röntgen(X-Ray) görüntülerinden kalça displazisi tespiti konulu çalışmaların sınırlı ve elde edilen doğru tespit (accuracy) değerlerinin düşük olduğu çalışmalarda eksiklik olarak belirtildiği görülmüştür. Bu araştırmanın amacı, tıbbi görüntüleme tekniklerinden olan röntgen görüntülerini derin transfer öğrenme metotları ile analiz ederek ve ilgili metotları karşılaştırarak Gelişimsel Kalça Displazisini yüksek doğruluk oranıyla tespit etmektir. Bunun için öncelikle yapay zeka ile tıbbi görüntüleme teknikleri, kalça ekleminin derin öğrenme tespiti, kalça displazisinin derin öğrenme ile tespiti konularında yapılan çalışmalar incelenmiştir. Kalça displazisi ile ilgili yapılan çalışmalar daha çok yenidoğan bebekler üzerinden ve ultrason görüntüleri kullanılarak yapılmıştır. İncelenen çalışmalarda daha çok derin transfer öğrenme modelleri tekil olarak kullanılmış ve kalça displazisi tespitindeki performansı ölçülmüştür. Çalışma 3 aşamalı derin transfer öğrenme modeli kapsamaktadır. Geliştirilen modelin amacı röntgen görüntülerini yüksek hassasiyette ve doğru bir şekilde analiz ederek kalça displazisini tespit etmektir. Çalışmanın ilk aşamasında U-Net mimarisi kullanılarak düşük seviyedeki özelliklerin çıkarımı gerçekleştirilmiştir. İkinci aşamada DenseNet ve Alexnet modelleri birleştirilerek ilk aşamada üretilen özellik haritası bu aşamada beslenerek derin öğrenme ve boyutlandırma gerçekleştirilmiştir. Son aşamada ilk 2 aşamadaki çıktıları birleştirilerek Displazi yada Normal olarak sınıflandırma tahminleri yapılmıştır. Eğitim için Mohammad Fraiwan ve ark. yaptığı “Detection of developmental dysplasia of the hip in X-ray images using deep transfer learning” konulu makalesindeki açık erişimli veri seti kullanılmıştır. Bu veri seti Kuzey Ürdün'deki iki hastanede 4,5-7 ay arasında değişen yaş aralığındaki 354 denekten (120 DDH ve 234 normal) alınan pelvik anteroposterior X-ışını görüntülerinden oluşmaktadır. Aynı zamanda test içinde Kaggle’de açık erişimli olarak paylaşılan 850 görüntüden oluşan bir veri seti daha kullanılmıştır. Çalışmada sırasıyla veri ön işleme teknikleri ile resize ve

normalizasyon yapılmıştır. Adam optimizasyon algoritması ve çapraz doğrulama K-Fold teknikleri kullanılarak hibrit modelin performansı arttırılmıştır. Çalışmada eğitim sonunda hibrit modelin doğruluğu %97 olarak hesaplanmıştır. Yapılan çalışma ile elde edilen sonuçlara göre çalışma, gerçek zamanlı testler ve daha büyük veri setleri ile yapıldığında kısa sürede doğru tanı koyma aşamasında ve tedavi sürecinde karar destek sistemlerinde yer alması halinde hekimlere faydalı olabileceği öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: DDH , Derin Öğrenme, X-ışını, Yapay Zeka.

ABSTRACT

When the literature is examined, it is seen that the studies on hip dysplasia detection from X-ray images are limited and the studies where the accuracy values obtained are low are stated as deficiencies. The aim of this research is to detect Developmental Hip Dysplasia with high accuracy by analyzing X-ray images, which are medical imaging techniques, with deep transfer learning methods and comparing the relevant methods. For this purpose, first of all, studies on medical imaging techniques with artificial intelligence, deep learning detection of the hip joint, and deep learning detection of hip dysplasia were examined. Studies on hip dysplasia were mostly conducted on newborn babies and using ultrasound images. In the examined studies, deep transfer learning models were mostly used singly and their performance in hip dysplasia detection was measured. The study includes a 3-stage deep transfer learning model. The aim of the developed model is to detect hip dysplasia by analyzing X-ray images with high precision and accuracy. In the first stage of the study, low-level features were extracted using the U-Net architecture. In the second stage, DenseNet and Alexnet models were combined and the feature map produced in the first stage was fed into this stage to perform deep learning and dimensioning. In the last stage, the outputs of the first 2 stages were combined to make classification predictions as Dysplasia or Normal. For training, the open access dataset in the article titled “Detection of developmental dysplasia of the hip in X-ray images using deep transfer learning” by Mohammad Fraiwan et al. was used. This dataset consists of pelvic anteroposterior X-ray images taken from 354 subjects (120 DDH and 234 normal) between the ages of 4.5-7 months in two hospitals in Northern Jordan. At the same time, a dataset consisting of 850 images shared openly on Kaggle was used for testing. In the study, resize and normalization were performed with data preprocessing techniques, respectively. The performance of the hybrid model was increased using the Adam optimization algorithm and cross-validation K-Fold techniques. At the end of the training in the study, the accuracy of the hybrid model was calculated as 97%. According to the results obtained from the study, it is anticipated that the study will be beneficial to physicians when it is carried out with real-time tests and larger data sets, in the stage of making a correct diagnosis in a short time and if it is included in decision support systems during the treatment process.

Keywords: DDH, Deep Learning, X-ray, Artificial Intelligence.

GİRİŞ

Gelişimsel kalça displazisi doğumda femur başının asetebulum ile olan subliksasyonundan kaynaklanır. Kalça instabilitesi ve çıkığı bebeklik döneminde daha sık görülürken hayatın ilk 1 yılında da görülmektedir. Sığ ve sabit bir yuva ise daha çok ergenlik veya yetişkinlikte keşfedilir.Ergenlik ve yetişkinlik döneminde asetebulum sığ ve femur başını tam desteklemediği için bu dönemde kalça displazisi asetebular displazi olarak adlandırılır.Ülkemizde Gelişimsel Kalça Displazisinin görülme sıklığı 100 canlı doğumda 5 ile 15 arasında olduğu bildirilmektedir.Bu prevalanstan yola çıkarak tedavi edilmediği taktirde ülkemizde yaklaşık 14-18 bin yenidoğan sakat kalma riski ile karşı karşıyadır. (Ş.Gökçe, K.Mehtap, Ö.Nilgün)

Yenidoğan döneminde, fizyolojik kalça ve diz kontraktürünün olmaması, abdüksiyonda kısıtlılık, Ortoloni ve Barlow testinin pozitif olması gelişimsel kalça displazisi için tanı kriterlerindendir. (Bilgen, S., Sarısözen, B. ,2005). Diğer tanı yöntemleri ise Radyolojik bulgular ,ultrasonografi, bilgisayarlı tomografi ve manyetik rezonans yöntemleridir. Yenidoğan ve süt çocukluğu döneminde gelişimsel kalça displazisinin atlanmaması için kalça ultrasonu önemlidir. Sağlık Bakanlığının 2010 yılında Ulusal Gelişimsel Kalça Displazisi Erken Tanı ve Tedavi Programı kapsamında yenidoğanda erken tanı ve sakatlığın önlenebilmesi için ultrason ile GKD taramalarını hayata geçirmiştir.

Son dönemde Yapay Zekanın ortopedi alanında ciddi potansiyele sahip olduğu görülmektedir. Tıbbi görüntüleme kalitesinin artışı ile beraber Derin Öğrenme Algoritmaların performansı artmış ve hata payı en aza inmiştir. Bu da Derin Öğrenme Algoritmalarındaki güvenilirliği olumlu ölçüde etkilemiştir. Yapay Zeka Algoritmalarının geliştirilmesi ve sağlık sistemine entegre edilmesi ile sağlık hizmetlerindeki etkinlik ve performansının artışı beklenmektedir. Bir diğer noktada Yapay Zekanın Görüntüleme tekniklerinin getirdiği maliyetleri en aza indirmesidir.(Açıkgöz,G,2022). Ayrıca bu görüntüleme tekniklerinin yaydığı iyonize radyasyon oranı da azımsanmamalıdır. Dijital teknolojilere bağlı geliştirilen tıbbı görüntüleme sayılarındaki artış beraberinde iyonlaştırıcı radyasyon dozunun artışı bazı risklere yol açabileceği endişesini de beraberinde getirmektedir. Yapay Zekanın Radyasyon optimizasyonun sağlanması ile MRI tarayıcı süresini kısaltması ve BT/MRG gibi görüntüleme cihazlarının kullanımını optimize ederek maliyeti düşürmesi Sağlık hizmetleri için harcanan bütçe için avantaj sağlamaktadır.

Yapay Zekanın sağlık alanında göstereceği performans her daim değerlendirilmeli ve bu alanda daha fazla araştırma yapılmalıdır.

Dijital Çağın getirdiği Yapay Zeka sistemi sağlık alanında da kullanılmaya başlanmıştır. Derin Öğrenme uygulamalarının radyolojik görüntüleri okuma ve değerlendirmede başarılı sonuçlar elde ettiği çok sayıda çalışma mevcuttur. Sağlık profesyonellerine destek amacıyla geliştirilen yapay zeka sistemleri birçok veriyi çok daha kısa sürede analiz edip çıktı ürettiği için zaman tasarrufu sağlayacaktır. Yapay Zeka ile ilgili biri başka değinilen husus ise

uzmanların pratik tecrübelerinden kaynaklı radyolojik görüntüleri yorumlama farklılıklarını ortadan kaldıracağı yönündedir. Ghasseminia ve ark. Sweep ultrason görüntüleriyle yaptığı çalışmada Yapay Zeka ve uzmanların ultrasonu değerlendirmesi karşılaştırılmış femur başının asetabulum içindeki konumunun ve astebular gelişimin tespit edildiğidir Alfa açısının ölçümünde yapay zeka ve uzmanlar arasında yüksek bir güvenilirlik tespit edilmiştir.(Sweep için ICC=0.87, tekil görüntüler için ICC=0.90).Gilbert M Schwarz ve ark. 'nın Yapay Zeka Destekli bir yazılımın pelvik radyografileri güvenilir değerlendirmesinin ölçüldüğü çalışmada Yapay Zeka yazılımının %94,3 oranında güvenilir sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu çalışmada yapay zeka destekli uygulamaların pelvik radyografilerinin manuel değerlendirilmesinde güvenilir bir alternatif olduğuna değinilmiştir.

Çalışmanın amacı, gelişimsel kalça displazisinin erken tespiti ve doğru bir şekilde sınıflandırılması için X-Ray görüntülerini kullanarak etkili bir yöntem geliştirmektir. Kalça displazisi, erken dönemde tanı konulmazsa kalıcı sakatlıklara yol açabilen ciddi bir hastalık olduğundan, bu çalışmada tıbbi görüntüleme tekniklerinin gücünden yararlanarak hastalığın daha hızlı ve güvenilir bir şekilde teşhis edilmesi hedeflenmektedir. Özellikle yapay zeka destekli algoritmaların kullanımıyla, X-Ray görüntülerinden elde edilen verilerin analizi hızlandırılarak, uzmanların pratik tecrübelerine dayalı farklı yorumlama hataları minimize edilmesi amaçlanmaktadır. Bu çalışma, gelişimsel kalça displazisinin tanı sürecini iyileştirmeyi, sağlık profesyonellerinin iş yükünü azaltmayı ve erken müdahale ile sakatlıkların önüne geçmeyi amaçlamaktadır.

LİTARATÜR TARAMASI

4 ay ve üzeri bebek ve çocuklarda kalça displazisi tespitinde röntgen çekilerek tanı konulur. (Köse vd., 2013). 3 boyutlu görüntüleme teknikleri gelmiş olsa da kalça ekleminin değerlendirilmesinde pelvik taban röntgenleri uzmanlar tarafından temel bir tanı koyma yöntemidir.Kalça displazisi tespitinde belli referans noktaları vardır.Bu referans noktalarını belirlemede değerlendiricinin uzmanlığı ve pratik tecrübesi de önemli rol oynamaktadır. Bu durum öznel yorumlamalara sebebiyet vererek fikir ayrılıklarına yol açmaktadır.Günümüzde bilgisayarlı sistemlerin gelişmesiyle daha nesnel tespitler yapılarak yorumlamaya kapalı daha güvenilir değerlendirme çıktıları alınmaya başlanmıştır.

Hyoung Suk Park ve Ark. 2021 yılında Diagnostic Performance of a New Convolutional Neural Network Algorithm for Detecting Developmental Dysplasia of the Hip on Anteroposterior Radiographs adlı çalışmasında AP plandaki radyografi görüntülerinden derin öğrenme algoritmalarıyla değerlendirilmiştir.Bu çalışmada CNN tabanlı bir derin öğrenme algortiması geliştirilmiştir. Derin Öğrenme algoritması ve radyologlar tarafından oluşturulan ROC eğrisinin altında kalana alan %98-91 aralığında bulunmuştur.Önerilen Model deneyimsiz radyologlara kıyasla daha yüksek duyarlılık ,özgüllük ve PPV göstermiş.Önerilen Derin öğrenme algoritması konvansiyonel kalça radyografilerinde deneyimli radyologlar kadar doğru bir teşhis yapmıştır.

Salih Beyaz ve ark. Derin Öğrenme ve genetik algoritma yaklaşımları kullanılarak X-ışını görüntlerinde femur boyun kırığı tespiti adlı çalışmasında frontal pelvik radyografiler kullanılarak femur boyun kırığı tespit edilmiştir. Bu çalışmada CNN mimarisi ve genetik algortimalar kullanılmıştır.Duyarlılık ,özgüllük ,doğruluk ,F1 skoru ve Cohen in kappa açısından performans değerlendirilmesi yapılmış ve eğitilen modelin %83 oranından kemik kırıklarını tespit ettiği bulunmuştur.

Qiang Li ve ark. Auxiliary diagnosis of developmental dysplasia of the hip by automated detection of Sharp's angle on standardized anteroposterior pelvic radiographs adlı çalışmasında Pelvik röntgen görüntüleri kullanılarak Sharp Açısı ölçülerek DDH tespiti yapılmıştır.Bu çalışmada amaç Sharp açısının otomatik olarak tespit edilmesi ve DDH için klinik karar verme sürecinin azaltılmasıdır. Sharp Açısı DDH tanısı için radyologlar tarafından manuel olarak tespit edilir.Bu çalışmada Mask R-CNN modeli kullanılarak Sharp Açısı otomatik olarak tespit edilmiştir.Bu çalışmada cerrahların Sharp açısını ölçme perfromansı ile AL modelinin Sharp açısını ölçme performansı karşılıklı değerlendirilmiştir. Önerilen Al Modeli ortopedik cerrahlarla benzer performans sergileyerek Sharp açısını daha kısa bir sürede ölçmüştür harp açılarına bakılarak AL modeli ve ortopedik cerrahların DDH 'yi teşhis etme becerisi eşdeğer bulunmuştur.

Sung-Hyun Kim ve ark. A comparative study on keypoint detection for developmental dysplasia of hip diagnosis using deep learning models in X-ray and ultrasound images adlı çalışmasında X-ışını ve ultrason görüntülemesi kullanılarak derin öğrenme modeline dayalı bir anahtar nokta tespiti yöntemi önerilmiş. Bu çalışmada RESNET-152 modeli kullanılmış ve X-Işını ve Ultrason görüntüleri ayrı ayrı incelenerek nesne anahtar nokta benzerliği değerlendirilmiş. Sonuçlar şu şekildedir;X-ışınında benzerlik oranı %95,33 iken ultrasonda benzerlik oranı %81,22 olarak değerlendirilmiştir.

Bu bağlamda çalışmalar incelendiğinde bebek ve çocuklarda derin öğrenme ile radyoloji görüntülerinin analiz edilmesi tanı ve teşhisi kolaylaştıracaktır.

YÖNTEM

Bu çalışmada kalça displazisini otomatik olarak ölçen derin öğrenme modeli geliştirilmiştir.

Veri Seti

Bu çalışmada Mohammad Fraiwan ve ark. yaptığı "Detection of developmental dysplasia of the hip in X-ray images using deep transfer learning" konulu makalesindeki açık erişimli veri seti kullanılmıştır. Bu veri seti Kuzey Ürdün'deki iki hastanede 4,5-7 ay arasında değişen yaş aralığındaki 354 denekten (120 DDH ve 234 normal) alınan pelvik anteroposterior X-ışını görüntülerinden oluşmaktadır. Aynı zamanda test içinde Kaggle'de açık erişimli olarak paylaşılan 850 görüntüden oluşan bir veri seti daha kullanılmıştır. Veri setinde kullanılan orijinal görüntüler yüksek çözünürlüklü ve JPEG formatındadır. Bozuk ve okunmayan görüntüler elenmiştir. Görüntüler sonrasında derin öğrenme modelinin gereksinimlerine göre

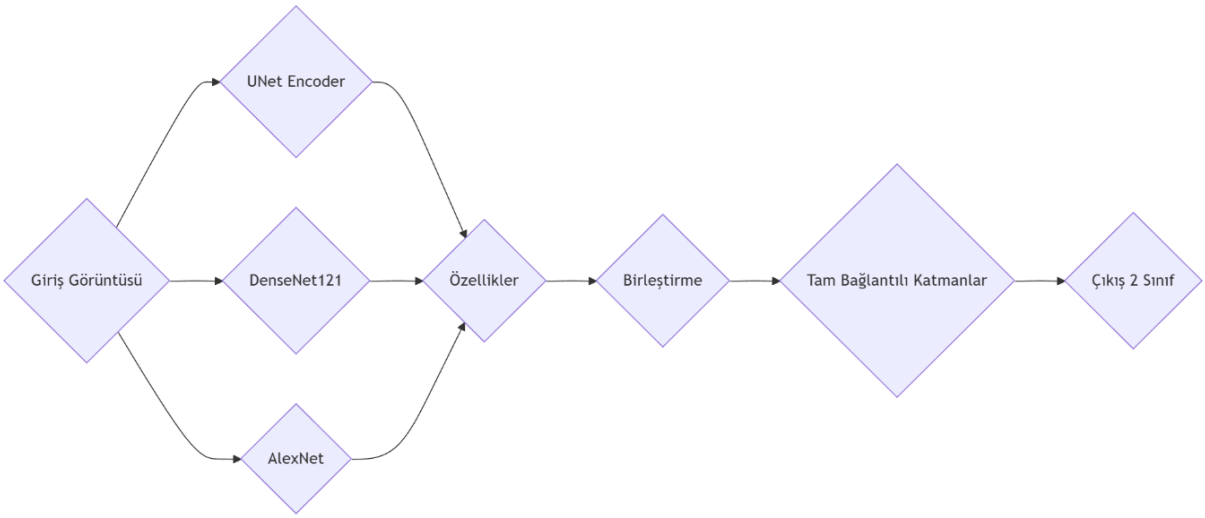
224*224 piksel boyutunda yeniden boyutlandırılmıştır. Boyutlandırılan görüntüler PyTorch tensörlerine dönüştürülmüş ve görüntülerin piksel değerleri [-1,1] aralığında normalize edilmiştir.

Bu çalışmada Röntgenden kalça displazisi tespiti için DenseNet121,AlexNet ve U-Net modelleri kullanılarak hibrit bir model geliştirilmiştir. Bu modeller ImageNet veri kümesi üzerinden önceden eğitilmiş ağırlıkları ile kullanılmıştır.

Deneysel Kurulum

Bu çalışmada Röntgenden kalça displazisi tespiti için DenseNet121,AlexNet ve U-Net modelleri kullanılarak hibrit bir model geliştirilmiştir. Bu modeller ImageNet veri kümesi üzerinden önceden eğitilmiş ağırlıkları ile kullanılmıştır. Geliştirilen modelin amacı röntgen görüntülerini yüksek hassasiyette ve doğru bir şekilde analiz ederek kalça displazisini tespit etmektir. Çalışmanın ilk aşamasında U-Net mimarisi kullanılarak düşük seviyedeki özelliklerin çıkarımı gerçekleştirilmiştir. Bu modelde görüntü özelliklerini çıkarmak için U-Net Encoder oluşturulmuştur. Bu encoder, evrişim ve havuzlama katmanlarını kullanarak düşük seviyeli özellikleri öğrenir. İkinci aşamada DenseNet ve Alexnet modelleri birleştirilerek ilk aşamada üretilen özellik haritası bu aşamada beslenerek derin öğrenme ve boyutlandırma gerçekleştirilmiştir. Son aşamada ilk 2 aşamadaki çıktıları birleştirilerek Displazi ya da Normal olarak sınıflandırma tahminleri yapılmıştır.

Hibrid modelin tüm parametreleri için Adam optimizasyon algortimasının öğrenme oranı 0.0001 olarak ayarlanmıştır. Öğrenme oranının düşük tutulmasının sebebi kararlılığı arttırmaktır. Hem eğitim hem de test için yığın boyutu 32 olarak ayarlanmıştır. Epoch sayısı 20 olarak belirlenmiştir. Modelin genelleme yeteneğini değerlendirmek ve daha güvenilir sonuçlar almak için K-Katlı Çapraz Doğrulama eklenmiştir. Veriler test ve eğitim olarak bölünmemiştir bunun yerine K-Katlı Çapraz Doğrulama eklenmiştir. K-Fold 10 olarak ayarlanmış olup bu veri kümesinin 10 katmana bölüneceğini ifade eder.

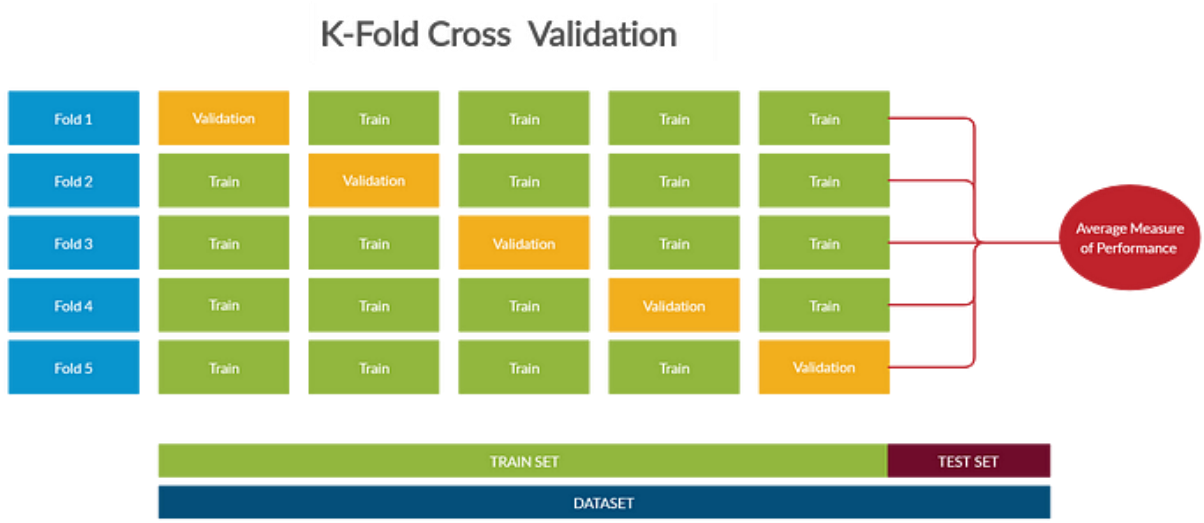


Şekil-1: Hibrid Model Şemantik Gösterim

Performans Değerlendirme Ölçütleri

Bu çalışmada K-Fold çapraz doğrulama tekniği kullanılarak model başarısı değerlendirilmiştir. Bu teknik,veri setini K eşit parçaya bölerek, her bir parçayı validation seti olarak kullanır böylece modelin farklı veri kombinasyonlarında test edilmesini sağlar.K-Fold Çapraz Doğrulama tekniği modelin overfitting yapmasını engeller. K-Fold Çapraz Doğrulama tekniği şu şekilde çalışır;

Veri seti rastgele olacak şekilde karıştırılır.Veri seti K gruba ayrılır.Her grup için şu şekilde bir döngü uygulanır;Seçilen grup validasyon seti olarak kullanılır.Diğer tüm gruplar (k-1 grup) train seti olarak kullanılır.Train seti kullanılarak model kurulur ve validasyon seti ile değerlendirilir.Modelin değerlendirme puanı bir listede saklanır.(Durna, 2020)



Şekil-2: K-Fold Çapraz Doğrulama Tekniği Yöntemi Özet Diyagram.(Durna, 2020)

Çalışmada 10 katlı K-Fold çapraz doğrulama tekniği kullanılarak modelin performansı değerlendirilmiştir. Mixed Precision Training için GradScaler oluşturulmuştur.Bu yöntem, bellek kullanımını optimize ederek hesaplamaları hızlandırır.

Sınıflandırma modellerinde belli değerlendirme metrikleri kullanılmıştır.

Doğruluk(Accuracy): Doğruluk, bir sınıflandırma modelinin doğru tahminlerinin, tüm veri noktalarına göre yüzdesini hesaplayan temel bir metriktir. Bu, bir modelin performansını bir bakışta değerlendirmenizi sağlar(Bulut, 2024).Dengesiz veri setlerinde yanıltıcı olabilir. Örneğin, %90-10 dengesiz bir veri setinde model tüm örnekleri çoğunluk sınıfına atarsa doğruluk yüksek görünebilir.

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}$$

TP (True Positive): Doğru pozitif tahminler

TN (True Negative): Doğru negatif tahminler

FP (False Positive): Yanlış pozitif tahminler

FN (False Negative): Yanlış negatif tahminler

Keskinlik(Precision): Kesinlik, bir sınıflandırma modelinin pozitif olarak tahmin ettiği örneklerin gerçekten pozitif olduğu oranıdır. Özellikle sahte alarm (False Positive) olasılığının kritik olduğu alanlarda önemlidir.

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP}$$

Duyarlılık(Recall): Duyarlılık, gerçek pozitif örneklerin ne kadarının pozitif olarak tahmin edildiğini ölçer. Tıbbi teşhis gibi yanlış negatiflerin ciddi sonuçlara yol açabileceği alanlarda önemlidir.

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN}$$

F-1 Skoru: Kesinlik (Precision) ve duyarlılık (Recall) arasında bir denge sağlar. Dengeli sınıflandırma performansı için tercih edilir.

$$F1 = 2 \times \frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall}$$

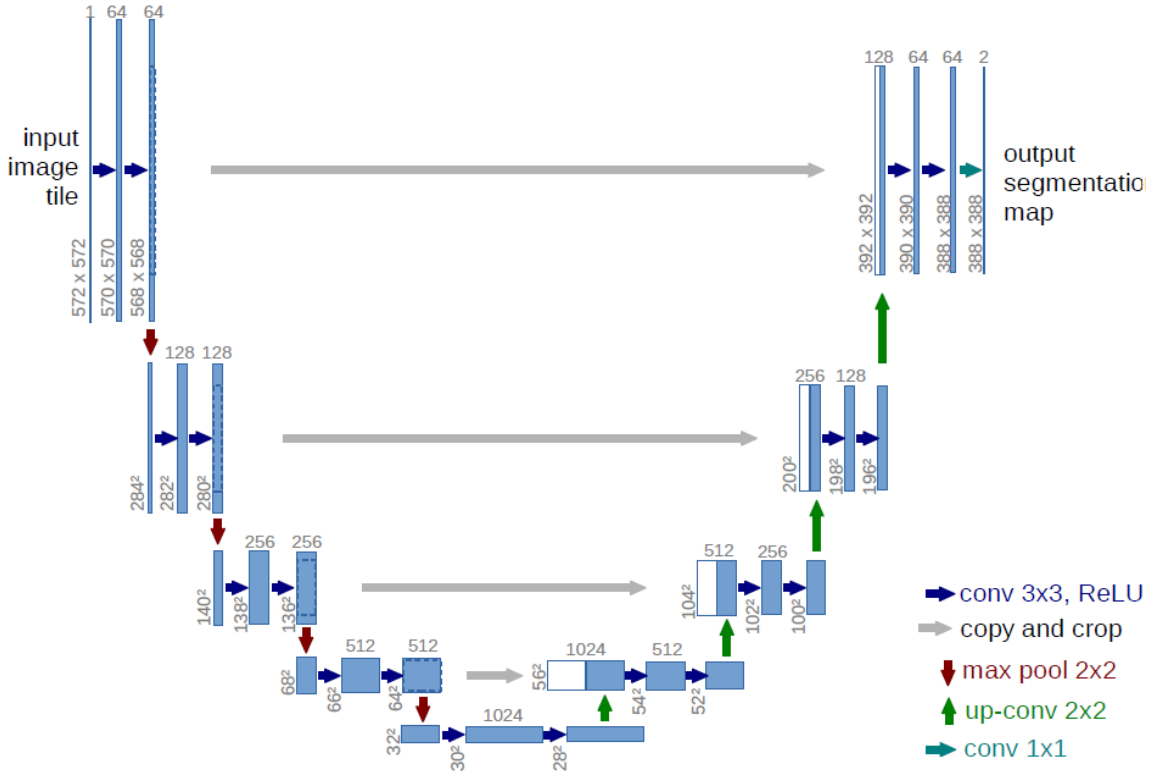
İyi bir model,yüksek özgüllük değerleri için geri çağırma değerlerine sahip olmalı ve her yerde yüksek gerçek pozitif oranını korumalıdır.

ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

X-Ray görüntülerinden kalça displazisi tespiti ileri yaş grubundaki hastalarda kullanılan yaygın bir yöntemdir. Anatomik yapıları otomatik olarak tespit edebilen ve insan müdahalesi olmadan gerekli açıları elde edebilen modelleme oluşturmak için büyük veri setleri gereklidir.(Özdemir,2024).Çalışmada 3 aşamalı derin transfer öğrenme modeli kullanılmıştır. U-Net mimarisi küçük veri setlerinde iyi sonuç veren bir yapıdır. U-Net mimarisi giriş görüntüsünün her pikselini sınıflandırarak bölütleme yapar. AlexNet mimarisi nesne tanıma ve özellik çıkartmada etkili bir mimaridir. DenseNet mimarisi piksel seviyesinde sınıflandırma ve özelliklerin yeniden kullanımı konusunda etkili bir mimaridir. DenseNet , U-Net ve AlexNet mimarilerinin öne çıkan özellikleri birleştirilerek performansı yüksek yeni bir model geliştirilmiştir.

U-Net Mimarisinin Yapısı

U-net sınıfı içinde 4 adet konvolüsyon bloğu tanımlanır. Her biri 3*3 konvolüsyon ve ReLU aktivasyonu içerir. Max pooling işlemi kullanılarak her aşamada görüntü boyutu yarıya düşürülmüştür. Görüntü boyutunun yarıya düşürülmesinin sebebi, hem hesaplama maliyetini düşürmek hem de modelin geniş ölçekli yapıları öğrenmesini sağlamak için yapılmıştır. Giriş görüntüsü U-Net Encodere verilir ve encoderin çıkışında 512 kanal vardır fakat bu diğer modeller arasında uyumsuzluk yarattığı için 1*1 konvülsiyon ile 3 kanala düşürülmüştür. U-Net Encoderin işlediği görüntü hem DenseNet hem de AlexNet modellerine verilerek özellik haritaları çıkartılır.



Şekil-3: U-Net Segmentasyon mimarisi(Uzun.S, vd., 2022)

Çalışmada ilk aşamada sadece U-Net ve AlexNetin birlikte kullanılarak model performansı değerlendirilmiştir. Performans sonuçları aşağıda verilmiştir.

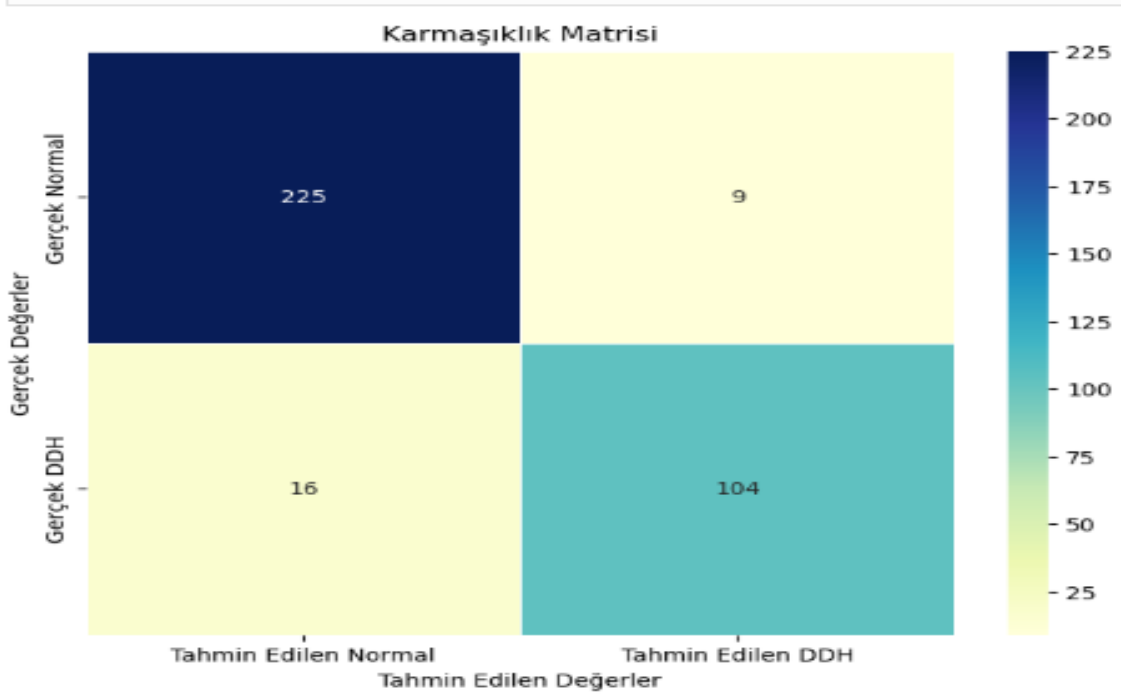
	Precision	Recall	F1-Score	Support
Normal	0.93	0.96	0.95	234
DDH	0.92	0.87	0.89	120
accuracy			0.93	354
macro avg	0.93	0.91	0.92	354
weighted avg	0.93	0.93	0.93	354

Şekil-4: U-Net ve AlexNet modelin birleşimiyle oluşturulan modelin performans değerleri görülmektedir.

Tabloda da görüldüğü gibi model normal sınıfları daha iyi ayırt etmiştir fakat DDH vakalarında duyarlılık daha düşüktür.

	Tahmin Edilen Normal	Tahmin Edilen DDH
Gerçek Normal	225	9
Gerçek DDH	16	104

Şekil-5: Modelin karmaşıklık matrisi verilmiştir. Model 354 görüntü üzerinden analiz yapmış ve doğru normal tahminler 225 ve doğru DDH tahmini 104 olarak çıkarılmıştır.



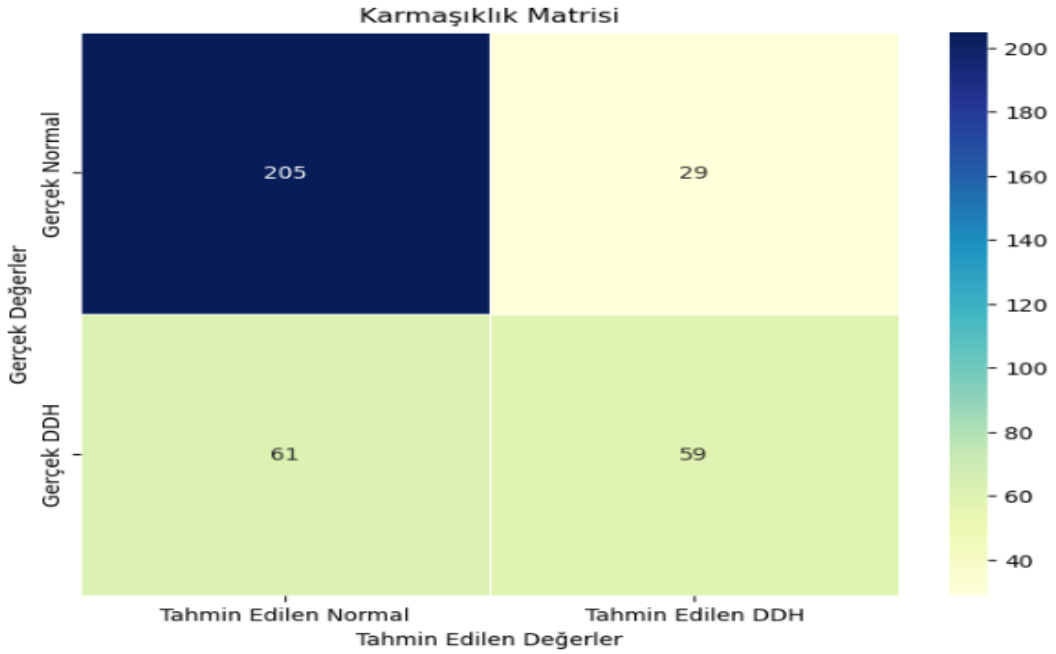
Çalışmada ikinci aşamada sadece AlexNet ve DenseNet mimarileri birleştirilerek model performansı değerlendirilmiştir.

	Precision	Recall	F1-Score	Support
Normal	0.77	0.88	0.82	234
DDH	0.67	0.49	0.57	120
accuracy			0.75	354
macro avg	0.72	0.68	0.69	354
weighted avg	0.74	0.75	0.73	354

Şekil-6: AlexNet ve DenseNet mimarilerinin birleşimi ile oluşan modelin performans değerleri gösterilmiştir.

	Tahmin Edilen Normal	Tahmin Edilen DDH
Gerçek Normal	205	29
Gerçek DDH	61	59

Şekil-7: Modelin Confusion matrisi



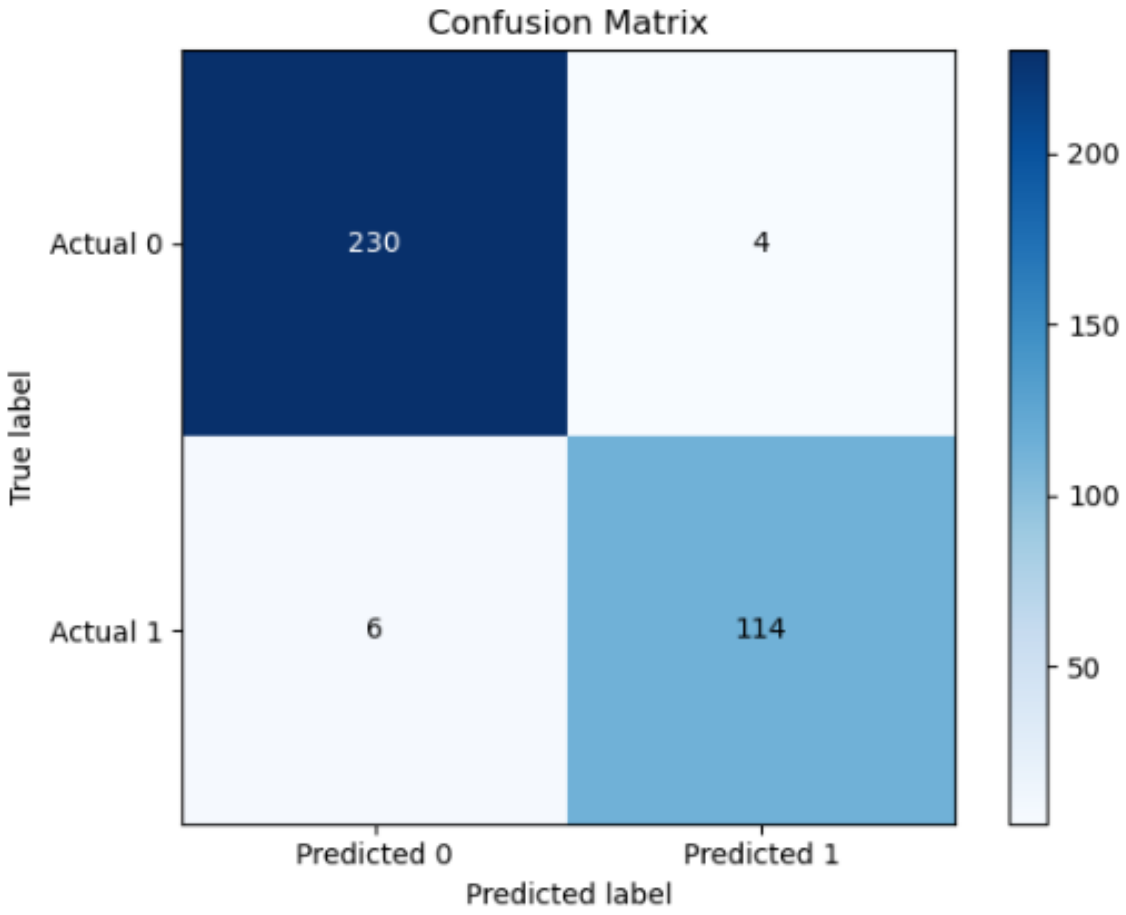
Şekil-8: Modelin Confusion matrisinin ısı haritası

AlexNet ve DenseNet mimarileri birarada kullanıldığında istenilen performansı verememiştir. AlexNet, yüksek seviyeli özellik çıkarımında iyi bir modeldir fakat derin bağlantılar içermemektedir. DenseNet mimarisi önceki katmanlardan gelen bilgileri tekrar kullanarak özellik çıkarma havuzunu genişletir. Fakat sadece bu iki mimarinin kullanılması istenilen görevde başarılı olamamıştır. Bir yapay zekanın herhangi bir veri parçasına uygun sonuçlar üretebilmesi için o verinin önceden belirlenmiş kategorizasyonunu tanıyabilmesi ve her bir kategorinin özelliklerini öğrenebilmesi gerekir. Bu iki model detaylı bölütleme yeteneğine sahip olmadığı için sadece bu modellerle oluşturulan bir yapının performansı çok düşük kalmıştır.

AlexNet,U-Net ve DenseNet mimarilerinin birleştirilerek oluşturulan Hibrit modelin performans sonuçları aşağıda verilmiştir.

Sınıf	Precision	Recall	F1-Score	Destek (Support)
Normal	0.97	0.98	0.98	234
DDH	0.97	0.95	0.96	120
Genel Doğruluk (Accuracy)	**0.97**	-	-	354
Makro Ortalaması (Macro Avg)	0.97	0.97	0.97	354
Ağırlıklı Ortalama (Weighted Avg)	0.97	0.97	0.97	354

Şekil-9:Hibrit Model performans sonuçları



Şekil-10:Hibrit model confusion matiris ısı haritası

Gerçek \ Tahmin	Normal	DDH
Normal	230	4
DDH	6	114

Şekil-11: Hibrit model confusion matrisi

Model, tabloda da görüldüğü üzere 354 görüntü üzerinden 230 Normal vakayı doğru tahmin etmiştir.4 Normal vakayı yanlışlıkla DDH olarak tahmin etmiştir.6 DDH vakayı yanlışlıkla normal olarak tahmin etmiştir.114 DDH vakasını doğru tahmin etmiştir.

Hibrit model başarısı %97 olarak bulunmuştur. Hibrit modelin bu kadar yüksek başarı elde etmesinde en büyük etken U-Net mimarisinin sınıflandırma ve bölütlemede başarılı olması ile DenseNet ve AlexNet modellerini desteklemesidir. U-Netin eklenmesi düşük seviyeli detayların korunmasını sağlayarak model doğruluğunu arttırmıştır.

Çalışmada elde edilen bulgulara göre hibrit model sonucu tatmin edicidir. Bu çalışmanın gerçek dünya verileriyle klinik ortamda test edilmesi önemlidir. Çalışmada kullanılan veri setinin az olması sebebiyle daha geniş bir veri seti ile hibrit model test edilmelidir. Bu

eksiklikleri göz ardı ettiğimizde çalışma amacımız olan kalça displazisinin X-Ray görüntüleri üzerinden otomatik tespiti başarı ile gerçekleşmiştir. Gelişimsel kalça displazisinin derin öğrenme modelleri kullanılarak yapılan yapay zeka sistemlerinin uzman doktorların tabı ve teşhisinde yardımcı bir araç olarak kullanılacak şekilde adapte edilmesi gereklidir. Bu gelişmeler tıp dünyasında uzmanların teşhislerinde görüş farklıkları, deneyim eksikleri ve tanı koyma süresini optimum seviyeye indirmesi gibi parametrelerde avantaj sağlayacaktır.

SONUÇ

Bu çalışmada diğer çalışmalardan farklı olarak 3 farklı derin öğrenme mimarisinin farklı özellikleri bir arada kullanılarak yapılmasıdır. Bu sayede 3 farklı modelin öne çıkan özellikleri kullanılarak yüksek performanslı yeni hibrit bir model geliştirilmiştir. Çalışmada modellerin ayrı ayrı performansları karşılaştırıldığında hibrit model yüksek başarı göstermiştir.

Model	Sınıf	Precision	Recall	F1-Score	Support
U-Net + AlexNet	Normal	0.95	0.96	0.95	234
	DDH	0.89	0.87	0.89	120
	Genel	0.93	-	-	354
AlexNet + DenseNet	Normal	0.77	0.88	0.82	234
	DDH	0.67	0.49	0.57	120
	Genel	0.75	-	-	354
Hibrit Model	Normal	0.97	0.98	0.98	234
	DDH	0.97	0.95	0.96	120
	Genel	0.97	-	-	354

Şekil-12: Çalışmada test edilen mimariler ile oluşturulan modellerin performans sonuçları

KAYNAKLAR

Açıkgöz, G. (2022). Radyolojide Yapay Zekanın Kullanımı ve Radyasyon Dozu Bakımından Önemi.

Beyaz, S., Açıcı, K., & Sümer, E., (2020). Derin Öğrenme ve Genetik Algoritma Yaklaşımları Kullanılarak X-Ray Görüntülerinde Femur Boyun Kırığı Tespiti . Uluslararası Sağlıkta Yapay Zeka Kongresi 2020 (pp.69). İzmir, Turkey

Bulut, F. (2024). Makine öğrenmesi doğruluk metrikleri: modelinizin performansını anlamanın anahtarı. *Manisa Celal Bayar Üniversitesi veri Topluluğu*.

Durna, M. B. (2020). Cross-validation nedir? nasıl çalışır?. *Medium*, (Bilişim Hareketi).

Fraiwan, M., Al-Kofahi, N., Ibnian, A. *et al.* Detection of developmental dysplasia of the hip in X-ray images using deep transfer learning. *BMC Med Inform Decis Mak* **22**, 216 (2022). https://doi.org/10.1186/s12911-022-01957-9

Kim, S. H., Lee, K., Lee, S. W., Chang, J. H., Hwang, J. Y., & Kim, J. (2023). X-ray 및 초음파 영상을 활용한 고관절 이형성증 진단을 위한 특징점 검출 딥러닝 모델 비교 연구. *Journal of the Acoustical Society of Korea*, *42*(5), 460-468. https://doi.org/10.7776/ASK.2023.42.5.460

Köse, N., Ömeroğlu, H. ve Dağlar, B. (2013). Gelişimsel kalça displazisi ulusal erken tanı ve tedavi programı . *Çocuk Ortopedi Derneği.*

Li, Q., Zhong, L., Huang, H., Liu, H., Qin, Y., Wang, Y., Zhou, Z., Liu, H., Yang, W., Qin, M., Wang, J., Wang, Y., Zhou, T., Wang, D., Wang, J., Xu, M., & Huang, Y. (2019). Auxiliary diagnosis of developmental dysplasia of the hip by automated detection of Sharp's angle on standardized anteroposterior pelvic radiographs. *Medicine*, *98*(52), e18500. https://doi.org/10.1097/MD.0000000000018500

Özdemir, M. C., Çiftci, S., Aydin, B. K., Ceylan, M. (2024). Gelişimsel kalça displazisi ultrason görüntülerinin iki aşamalı derin öğrenme yaklaşımı ile kullanabilirlik analizinin yapılması. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 40(1), 541-554. https://doi.org/10.17341/gazimmfd.1318983

Park, H. S., Jeon, K., Cho, Y. J., Kim, S. W., Lee, S. B., Choi, G., Lee, S., Choi, Y. H., Cheon, J. E., Kim, W. S., Ryu, Y. J., & Hwang, J. Y. (2021). Diagnostic Performance of a New Convolutional Neural Network Algorithm for Detecting Developmental Dysplasia of the Hip on Anteroposterior Radiographs. *Korean journal of radiology*, *22*(4), 612–623. https://doi.org/10.3348/kjr.2020.0051

Uzun,S. vd (2022). U-net mimarisi ile beyin tümörü mrı görüntülerinin segmentasyonu . *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, *9*(4), 1583-1590. 10.31202/ecjse.1169424

OcBSA and QTL-seq BULK SEGREGANT ANALYSIS in PISTACHIO

Harun KARCI
Asso. Prof. Dr., Çukurova University, Faculty of Agriculture, Department of Horticulture
ORCID NO: 0000-0002-7219-7135

ABSTRACT

Bulk Segregant Analysis (BSA) has a high power for identifying genomic regions associated with traits of interest by comparing pooled DNA samples from individuals with contrasting phenotypes. In this study, both Occasionally Controlled Bulk Segregant Analysis (OcBSA) and QTL-seq were used in pistachio to detect genomic regions linked to key agronomic traits. OcBSA focuses on identifying candidate loci under variable environmental influences, allowing for a more refined detection of adaptive traits using both parents and extreme phenotypic features. QTL-seq, a next-generation sequencing-based BSA method, enables rapid mapping of quantitative trait loci (QTLs) by sequencing bulked DNA from extreme phenotypic groups with one of the parents. By integrating these methods, the study aims to reveal genetic markers and candidate genes and to test the potential these NGS based softwares by facilitating marker-assisted selection (MAS) for breeding programs. In this report, candidate QTL regions linked by sex using OcBSA and QTL-seq softwares were identified and compared results in Siirt x Bağyolu F1 population.

Key words: OcBSA, QTL-seq, pistachio

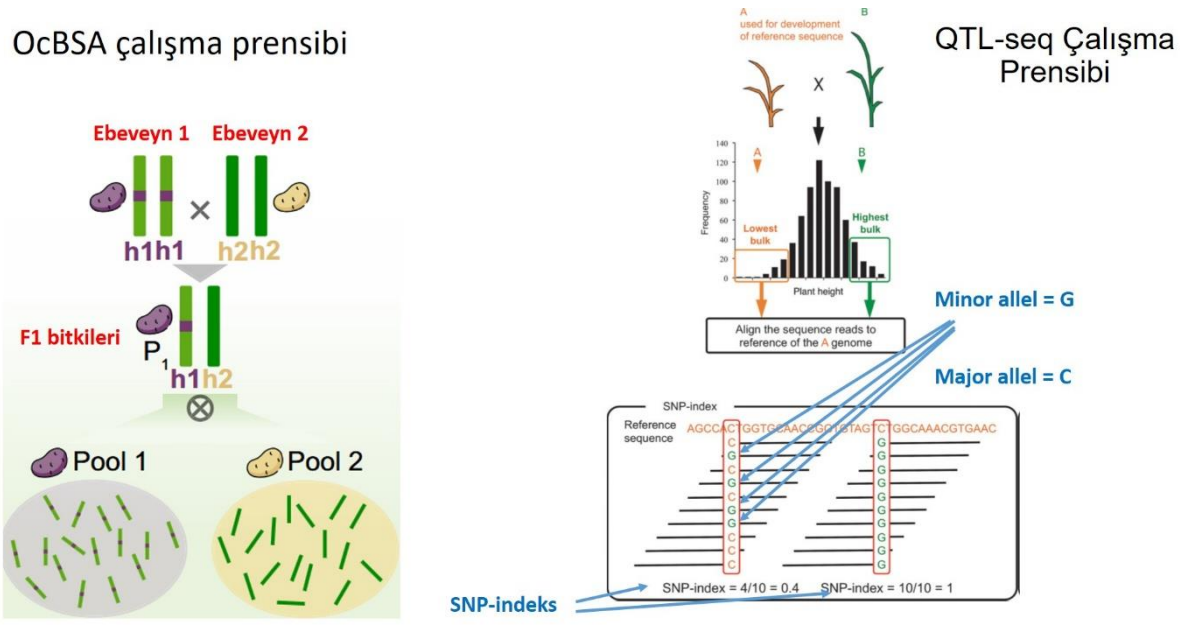
INTRODUCTION

High-density genetic maps in plants have been developed to reveal the candidate genes linked by agronomical traits using SNPs from various sequencing platforms, including RAD-seq, GBS, DArTseq, and WGRS (Bernard et al. 2018). Due to the high cost of sequencing, alternative approaches like QTL-seq and OcBSA, based on Bulk Segregant Analysis (BSA), have gained popularity (Takagi et al. 2013; Zhang et al. 2024). These methods allow rapid identification of QTL regions and associated markers by comparing DNA bulks with contrasting phenotypes. Compared to traditional QTL mapping, QTL-seq and OcBSA are faster, less labor-intensive, and can identify millions of SNPs using WGRS data (Singh et al. 2022). QTL-seq has been successfully applied in various crops such as cucumber, soybean, tomato, peanut, sesame, melon, pigeon pea, rice, almond, bean, and watermelon, although OcBSA is a novel software for outcrossing plant species. It works with both parents and QTL-seq uses the one of the parents in analysis.

QTL-seq is a rapid and cost-effective method for identifying quantitative trait loci (QTLs) associated with specific traits by combining bulked segregant analysis (BSA) with next-

generation sequencing (NGS). The process begins by crossing two parental lines that differ in the trait of interest to generate a segregating population, typically F2 or sometimes F1. Individuals from the population are phenotyped, and those showing extreme phenotypes (e.g., highest and lowest values for a trait) are selected. Their DNA is pooled into two bulks representing the extreme phenotypes and sequenced. Sequence reads are aligned to a reference genome to identify single nucleotide polymorphisms (SNPs) with small indels. For each variant, a SNP-index is calculated, representing the proportion of reads supporting the alternative allele in each bulk. The difference between the two bulks' SNP-indices, known as ΔSNP-index, is plotted across the genome. Peaks in the ΔSNP-index plot highlight genomic regions where allele frequencies significantly differ between bulks, indicating potential QTLs responsible for the trait variation (Takagi et al. 2013).

OcBSA (Original contribution Bulked Segregant Analysis) is an enhanced BSA approach designed to improve the resolution and accuracy of identifying trait-associated loci in populations with complex genetic backgrounds for outcrossing plant species. OcBSA involves selecting individuals from a segregating population that show extreme phenotypes for a trait of interest like traditional BSA. DNA from these individuals is pooled into two bulks (e.g., high and low trait values) and sequenced using next-generation sequencing. What makes OcBSA unique is its use of multiple statistical models and correction strategies such as allele frequency difference, genotype quality filtering, and improved SNP calling pipelines to reduce noise and increase precision in identifying candidate regions. By integrating these optimizations, OcBSA enhances the detection of true genetic signals even in genetically diverse or heterozygous populations such as pistachio, making it especially useful for complex traits in crops and breeding programs (Zhang et al. 2024). The workflow of the both softwares were given in Figure 1.



In the current report, QTL-seq and OcBSA programs were used to reveal the linked loci associated with sex, and to detech the powerful of the programs in outcrossing pistachio species.

MATERIAL AND METHODS

Plant material and phenotyping of plants

In the current paper, Siirt x Bağyolu F1 progenies were used as plant materials. Siirt female and Bağyolu male parent with all F1 individuals DNA extraction were performed using Doyle et al (1991). For female and male pools, a total of 20 female and male plants were bulked into each pool.

Whole genome re-sequencing (WGRS) and QTL-seq analysis

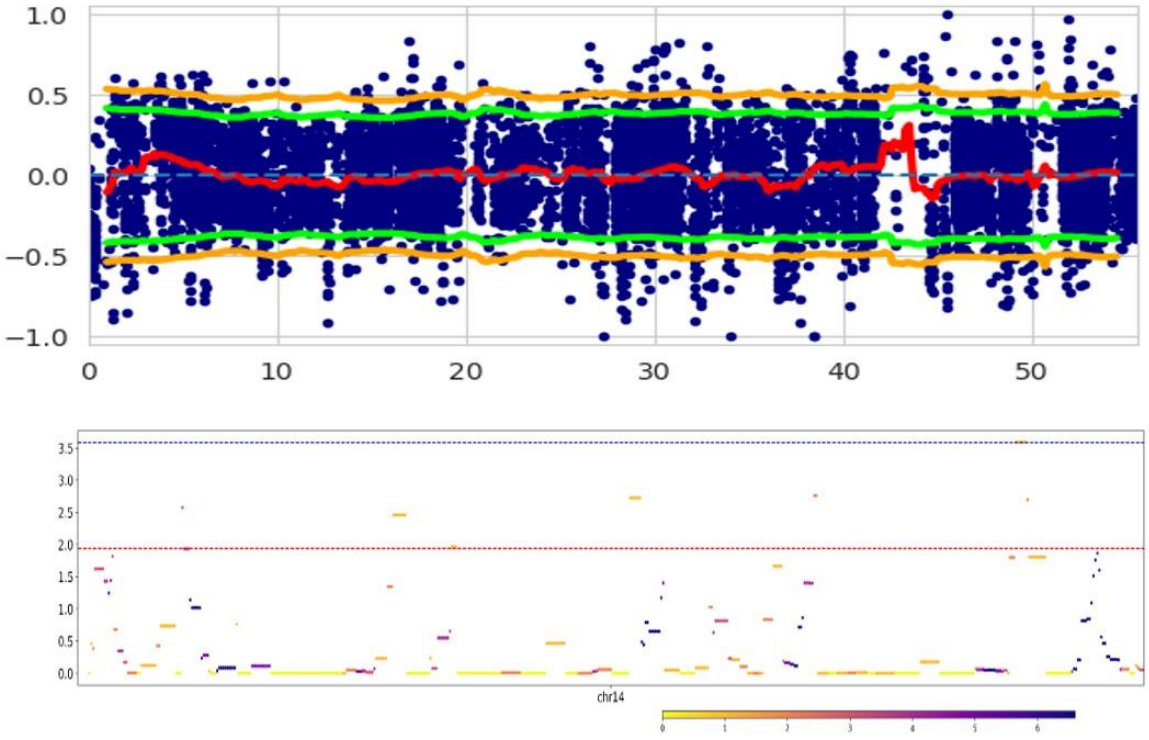
A total of 20 plants' DNAs with female and male F1 progenies were pooled in equal concentrations within two distinct bulks for whole genome resequencing. The constructed libraries generated the lengths of 150 bp paired-end reads. Libraries were sequenced on a single lane of an Illumina HiSeq4000. The low quality and adapters with the 3′ end of reads were removed using Trimmomatic (Bolger et al. 2014) using raw Fastq sequences.

The clean reads of the bulks and parents were aligned to Siirt cultivar reference genome sequences of pistachio (Kafkas et al. 2023) using the BWA alignment program (Li and Durbin 2009). The output SAM files were converted to BAM files with SAMtools (Li et al. 2009). Picard software marked the duplicates to eliminate false positive loci. And filtering of the BAM files was set mapping quality (MQ<30 and DP<7).

In QTL-seq analysis, the pipeline from BAM format was utilized with default setting. And, putative loci associated with sex were recorded. In OcBSA, variant calling was performed using GATK (Mckenna et al. 2010) with hard filtering options.

RESULTS

The candidate markers associated with sex inheritance was identified in QTL-seq and OcBSA analysis using two parents and two extreme pools next generation sequencing data. About 163, 153 and 85 million reads were deteched in female, male and Siirt female parent, respectively. After the Q30 mapping filtering, the percentage of the mapping ranged from 92.24 to 92.72 %. In QTL-seq, chr14 was responsible for sex in 40-49 Mb ranges. In OcBSA analysis, candidate genomic regions for sex were idenftified among 48 and 49 Mb. In these regions, a lot of SNP and InDel loci were associated with sex inheritance (Figure 2).



The genome annotation was performed and exonic and variants statistics were calculated for samples. The most abondund markers were annotated into intergenic regions. And, 230k and 235k and 43k exonic variants were detected female, male and Siirt, respectively.

CONCLUSION

Both methods determine linked loci based on bulk segregant analysis. However, in the working principles they use, it is possible to do it using only one of the parents in QTL-seq software, while OcBSA software uses WGRS data from both parents. While GATK and Bcftools variant calling software can be used in QTL-seq analyses, OcBSA software only uses the VCF file obtained with GATK software. Both software have high potential in determining sex-linked loci and candidate genes. After the verification of the obtained results, clearer information will be determined about which one has better discrimination power. Thus, there are several benefits to perform the both BSA based analyses in outcrossing plant species such as pistachio. QTL-seq enables fast detection of genomic regions associated with sex by comparing male and female bulks. This bypasses the need for large and time-consuming classical genetic mapping populations. Both QTL-seq and OcBSA reduce the cost of genotyping by focusing sequencing efforts on pooled DNA samples from phenotypic extremes (e.g., males vs. females), instead of sequencing every individual. OcBSA improves signal detection in genetically diverse and heterozygous populations, like those in pistachio, by applying stricter statistical filtering and improved SNP calling methods, leading to more reliable identification of sex-linked loci. The markers and candidate regions identified can be developed into molecular markers for early sex determination, which is extremely valuable in

pistachio breeding where sexual phenotype is not evident until maturity. These methods highlight specific genomic intervals that can be further explored for sex-determining genes, facilitating downstream functional studies and gene cloning efforts. Early identification of sex in seedlings through markers derived from QTL-seq or OcBSA greatly reduces the time, space, and cost required in field trials, which is critical for long juvenile period species like pistachio.

REFERENCES

Bernard, A., Barreneche, T., Lheureux, F., & Dirlewanger, E. (2018). Analysis of genetic diversity and structure in a worldwide walnut (Juglans regia L.) germplasm using SSR markers. PloS one, 13(11), e0208021.

Bolger, A. M., Lohse, M., & Usadel, B. (2014). Trimmomatic: a flexible trimmer for Illumina sequence data. Bioinformatics, 30(15), 2114-2120.

Kafkas, S., Ma, X., Zhang, X., Topçu, H., Navajas-Pérez, R., Wai, C. M., ... & Ming, R. (2023). Pistachio genomes provide insights into nut tree domestication and ZW sex chromosome evolution. Plant Communications, 4(3).

Li, H., & Durbin, R. (2009). Fast and accurate short read alignment with Burrows–Wheeler transform. bioinformatics, 25(14), 1754-1760.

Li, H., Handsaker, B., Wysoker, A., Fennell, T., Ruan, J., Homer, N., ... & 1000 Genome Project Data Processing Subgroup. (2009). The sequence alignment/map format and SAMtools. bioinformatics, 25(16), 2078-2079.

McKenna, A., Hanna, M., Banks, E., Sivachenko, A., Cibulskis, K., Kernytsky, A., ... & DePristo, M. A. (2010). The Genome Analysis Toolkit: a MapReduce framework for analyzing next-generation DNA sequencing data. Genome research, 20(9), 1297-1303.

Singh, V., Sinha, P., Obala, J., Khan, A. W., Chitikineni, A., Saxena, R. K., & Varshney, R. K. (2022). QTL-seq for the identification of candidate genes for days to flowering and leaf shape in pigeonpea. Heredity, 128(6), 411-419.

Takagi, H., Abe, A., Yoshida, K., Kosugi, S., Natsume, S., Mitsuoka, C., ... & Terauchi, R. (2013). QTL-seq: rapid mapping of quantitative trait loci in rice by whole genome resequencing of DNA from two bulked populations. The Plant Journal, 74(1), 174-183.

Zhang, L., Duan, Y., Zhang, Z., Zhang, L., Chen, S., Cai, C., ... & Cheng, F. (2024). OcBSA: An NGS-based bulk segregant analysis tool for outcross populations. Molecular Plant, 17(4), 648-657.

T.C.
ARDAHAN ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
İlahiyat Fakültesi

Sayı : E-56430641-900-2500006194 17.02.2025
Konu : Akademik Temsilci Hk.

İLGİLİ MAKAMA

İlgi : Din Psikolojisi Ana Bilim Dalı Başkanlığının 14.02.2025 tarihli ve E-21509696-299-2500006156 sayılı yazısı.

İlgide kayıtlı yazıya istinaden, Fakültemiz Felsefe ve Din Bilimleri Bölümü Din Psikolojisi Ana Bilim Dalı'nda görev yapmakta olan Doç. Dr. Mehmet Emin KALGI'nın 4-6 Nisan 2025 tarihleri arasında İzmir'de düzenlenecek olan **"11. ULUSLARARASI EGE KONGRELERİ'nin (Sosyal ve Beşeri Bilimler Kongresi, Sağlık ve Fen Bilimleri Kongresi, İnovasyon ve Mühendislik Bilimleri Kongresi)"** düzenleme komitesinde, akademisyen temsilci olarak görev almasını olurlarınıza arz ederim.

Dr. Öğr. Üyesi Mukadder Arif YÜKSEL
Dekan Yardımcısı

OLUR
Prof. Dr. Mustafa YILDIZ
İlahiyat Fakültesi Dekanı

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.
Belge Doğrulama Kodu: FM77T4A Belge Takip Adresi: https://www.turkiye.gov.tr/ardahan-universitesi-ebys

Adres: Ardahan Üniversitesi Kampüsü, Çamlıçatak Mevkii, 75002, Merkez/ARDAHAN
Telefon No: (0 478) 2117563 Faks No: (0 478) 2117565
e-Posta: if@ardahan.edu.tr İnternet Adresi: www.ardahan.edu.tr
Kep Adresi: ardahanuni@hs01.kep.tr

Bilgi için : Mesut Akçay
İlahiyat Fakültesi Şef
Telefon No: (0 478) 2117563
Direkt Hat:

REF: Akademik Teşvik

Tarih: 21.04.2025

İlgili Makama;

"XI-INTERNATIONAL AEGEAN CONFERENCES on Innovation Technologies & Engineering 04-06 Nisan 2025 tarihleri arasında İzmir/Türkiye'de Türkiye (47) ve diğer ülkelerden (50) –*India (13), Azerbaijan (1), Kosovo (2), Albania (4), Malaysia (1), Morocco (1), Nigeria (7), Tunisian (2), Pakistan (5), Ethiopia (3), Bangladesh (1), Morocco (4), Algeria (4), Iraq (1), Angola (1)*- 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.

Assoc. Prof. Dr. Mehmet Emin KALGI
Head of Organizing Committee