

ALL SCIENCES ACADEMY



Proceeding Book of 5th International Conference on Scientific and Innovative Studies ICSIS 2025

15-16 July 2025: Konya, Turkey



PROCEEDING BOOK OF 5TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON SCIENTIFIC AND INNOVATIVE STUDIES ICSIS 2025

PROCEEDING BOOK OF 5TH ICSIS 2025:

15-16 July 2025

Konya, Turkey

Publication date: 25.07.2025

Publisher: All Sciences Academy

Proceeding Book of 5th International Conference on Scientific and Innovative Studies ICSIS 2025

<https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home>

5th International Conference on Scientific and Innovative Studies ICSIS 2025: edited by All Sciences Academy.

ISBN: 978-625-5900-81-4

As this is a serial book published, it has ISBN. All full papers were peer reviewed.

ISBN 978-625-5900-81-4

Printed in the Turkey with ISBN 978-625-5900-81-4

International Conference Website

<https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home>

INTRODUCTION

We had the great honor of of 5th International Conference on Scientific and Innovative Studies ICSIS 2025. It was truly a great pleasure for us to greet a lot of participants from many different countries attending ICSIS 2025! We firmly believe that the conference will become an important international event in the field of cross-industry discussion about innovations in Academic Studies.

Three cooperating organizations supported the two-day conference. There were 146 papers accepted for presentation at ICSIS 2025, contributed from different countries. We had plenary speeches and several well-known scientists and experts, to give invited talks at different sessions.

The purpose of ICSIS 2025 was to provide a forum for the participants to report and review innovative ideas, with up-to-date progress and developments, and discuss novel approaches to the application in the field of their own research areas and discuss challenges of doing science.

We sincerely hope that the exchange of ideas on doing research, science and improving education will help the participants, and international cooperation sharing the common interest will be enhanced.

On behalf the Organization Committee of ICSIS 2025, we would like to heartily thank our cooperating organizations for all they have done for the conference. We would also like to thank the authors for their contribution to the proceedings; the participants and friends of ICSIS 2025, for their interest and efforts in helping us to make the conference possible; and the Editorial boards for their effective work and valuable advice, especially the ICSIS 2025 secretariat and the ICSIS 2025 staff, for their tireless efforts and outstanding services in preparing the conference and publishing the Proceedings.

Publisher: All Sciences Academy

TABLE OF CONTENTS

Introduction	I
Table of Contents	II
Conference Chairs	VIII
Scientific Committees	IX
Document of Academic Incentive	X
Document of International Conference	XI

Table List of Content

Content of Full Papers

Page No	Title	Authors	Country	Submission ID
1-7	Dijital Etik ve Etkileri	Kübra ERASLAN, Serap KALFAOĞLU	Turkey, Turkey	Mail Submission 1
8-14	Duygusal Emek ve İş Hayatında Önemi	Cennet Kübra COŞKUN, Serap KALFAOĞLU	Turkey, Turkey	Mail Submission 5
15-24	Müzik, Yapay Zekâ ve Bilişsel Modelleme: Eğitimde Yaratıcı Zihinlerin Kodlanması Üzerine Disiplinlerarası Bir Yaklaşım	İsmail ERASLAN	Turkey	Submission 1088
25-28	A study on the ear and ear arteries in the New Zealand rabbit (<i>Oryctolagus cuniculus</i> L.)	Gülseren Kırbas Doğan	Turkey	Submission 1094
29-33	Integrated Modeling of a Geothermal-Substrate Greenhouse Heating System in Aydın	Abdullah Aracı, Coşkun Deniz	Turkey, Turkey	Submission 1104
34-39	Modulators of neuroplasticity and Epigenetics	Orjon Rroji	Albania	Submission 1115
40-45	Drone Tabanlı Görüntü İşleme ve Derin Öğrenme Yöntemleriyle Gerçek Zamanlı Çatı Hasar Tespiti için Etiketli Bir Veri Setinin Oluşturulması ve YOLOv5 Uygulaması	Zeydin Pala, İbrahim Halil Ünlük	Turkey, Turkey	Submission 1116
46-53	Simulation-Based Investigation of Intake Air Temperature Effects on Emissions and Engine Performance in a Diesel-Hydrogen Engine	Furkan Yazıcı, Şevket Onur Kılıç, Serdar Halis	Turkey, Turkey, Turkey	Submission 1127
54-58	Associations Between Physical Performance and Cognitive Control in Recreational Dancers	Abdurrahim Yıldız, Makbule Karci, Amir Hassanbabaei	Turkey, Turkey, Turkey	Submission 1130
59-65	Effect of butanol and dimethyl ether additive as oxygenated fuels in diesel engine on performance behavior and pollutant formation	Derviş Erol, Halil Erdi Gülcan	Turkey, Turkey	Submission 1137
66-76	Volumetric Evaluation of the Shpirag Structure Using Digitized Isopach Mapping and Statistical Methods	Erison Karamani, Ortenca Gropa, Raziela Zema	Albania, Albania, Albania	Submission 1138
77-80	Sürdürülebilir Beslenme:Çevre dostu beslenme alışkanlıklarının geleceği	Nazmiye Kabayel, Seydi Yıkılmış	Turkey, Turkey	Submission 1139
81-88	Horizontal Wells Drilling in the Patos-Marinza Oilfield: Performance, Challenges and Solutions in Unconsolidated Sandstone Reservoirs	Ortenca Gropa, Erison Karamani, Raziela Zema	Albania, Albania, Albania	Submission 1140
89-96	Ankara İlinde Fizyoterapi Merkezi Yer Seçimi: Bulanık AHP ve TOPSIS Yöntemleri ile Çok Kriterli Karar Verme Yaklaşımı	Gülsüm Özge COŞKUN, Fatma Efsa PAKSOY, Hacı Mehmet ALAKAŞ	Turkey, Turkey, Turkey	Submission 1146
97-104	Microsurgery, and the role of professionals	Orjon Rroji, Albion Shkoza	Albania, Albania	Submission 1153
105-114	Effect of Microwave and Microwave-Assisted Hot-Air Drying on the Color Characteristics of Celeriac Slices: A Chemometric Approach Based on CIE L*a*b* Parameters	Aysel Arslan	Turkey	Submission 1156
115-120	Next-Generation Logistics Service Quality: A Conceptual Reframing Along the Axes of Digitalization, Sustainability, and Crisis Resilience	Emine Öztürk Koçali	Turkey	Submission 1160
121-126	Mask R-CNN Application for Deep Learning Based Bone Fracture Detection	Zeki KÜÇÜKKARA, Şakir TAŞDEMİR	Turkey, Turkey	Submission 1182
127-130	Hidrolik Kontrollü Robotik El Tasarımı ve Simülasyonu	Mahmut Can Şenel	Turkey	Submission 1189
131-137	Object Detection of Fire and Smoke Using Deep Learning	Abdulrahman HAMDİ, Kemal ADEM, Esra KAVALCI YILMAZ	Turkey, Turkey, Turkey	Submission 1196
138-143	İstihdam Edilebilirlik Algısının Çalışan Performansıyla İlişkisi Üzerine Kavramsal Bir İnceleme	Çiğdem Kaya, İsmail Bekci, Ali Şimşek	Turkey, Turkey, Turkey	Submission 1197
144-149	İstihdam Edilebilirlik Algısı ile İşsel Motivasyon Arasındaki İlişki: Kavramsal ve Kuramsal Bir Değerlendirme	Çiğdem Kaya, İsmail Bekci, Ali Şimşek	Turkey, Turkey, Turkey	Submission 1198
150-157	The objectives and goals of the Holy Quran in permitting and prohibiting foods and drinks: an analytical study	Essam Fuoad Rasheed, Mraiam Ibrahim AL-Karaawi, Kamal Nadhim Magrood	Iraq, Iraq, Iraq	Submission 1206
158-175	Resource estimation of an iron ore field with different methods	Abdul Aziz Mahboob, Bülent Erdem	Turkey, Turkey	Submission 1208

176-183	BİR TOPTANCI FİRMASINDA PERSONEL SEÇİMİ İÇİN ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİNİN UYGULANMASI	Buğrahan YOLBİLİR, İbrahim Ethem ERTÜRK, Emre GÖKBULUT, Eren Batu GÜNAYDIN, Hacı Mehmet ALAKAŞ	Turkey, Turkey, Turkey, Turkey, Turkey	Submission 1210
184-192	Machinability Assessment of Al-7Si-Mg Alloy: Influence of Cutting Conditions on Drilling Temperature and Surface Roughness	Cem ALPARSLAN, Şenol BAYRAKTAR	Turkey, Turkey	Submission 1215
193-198	Manyetik Alanların İnsan Beyin Fonksiyonları Üzerindeki Etkileri: Biyofiziksel Mekanizmalar, Nörofizyolojik Bulgular, Klinik Uygulamalar ve Gelecek Perspektifler	Fatih Yaşar, Yakup Budak	Turkey, Turkey	Submission 1244
199-202	Chemical Structure of Apilarnil	Nesibe Özge Toy, Nuray Şahinler	Turkey, Turkey	Submission 1250
203-206	Prompt Yazmada Önemli Noktalar	Mahmud Zahid MUTLU, M. Hanefi CALP	Turkey, Turkey	Submission 1263
207-216	Biyomedikal Malzeme Tedarikinde Çok Kriterli Karar Verme Yaklaşımıyla Uygun Tedarikçi Seçimi	Ruveyda Belkis Küyer, Beyza İpek Kaman, Yusuf Bera Sanlı, Hacı Mehmet Alakaş	Turkey, Turkey, Turkey, Turkey	Submission 1264
217-222	Eğitim Amaçlı Şalt Sahası Modeli ve Prototip Uygulaması	Vedat Bingöl, İhsan Tuğberk İgci, Asım Gökhan Yetgin	Turkey, Turkey, Turkey	Submission 1267
223-233	Termal Görüntüler Üzerinden Fotovoltaik Panel Arızalarının YOLOv12 ile Tespiti ve Performans Analizi	Mustafa Danacı, Ahmet Çifci, İsmail Kırbuş	Turkey, Turkey, Turkey	Submission 1269
234-241	Güneş Enerjisi Santrallerinin Dağıtım Şebekelerine Entegrasyonunun Etkileri ve Çözüm Yaklaşımları	Bilal İnci, Ahmet Çifci	Turkey, Turkey	Submission 1270
242-248	Farklı SDS Konsantrasyonlarındaki TiN Partikül Takviyeli Ni-W Esaslı Kaplamalar	Alihan BERKAN, Erhan DURU, Hatem AKBULUT	Turkey, Turkey, Turkey	Submission 1274
249-254	Deep Learning Approach for Disease Detection in Canine	Yasin AKMAN, Şakir TAŞDEMİR, Nuriza ZAMİRBEKOVA ERDOĞAN	Turkey, Turkey, Turkey	Submission 1278
255-261	Eğitim Hakkı ve Ayrımcılık: Uluslararası Hukuk Çerçevesinde Bir İnceleme	Merve Turpçu, Murat Turpçu	Turkey, Turkey	Submission 1279
262-274	The Role of Protection Relays in Power Systems and an Overview of Their Operation System: A Sample Experimental Setup Design	Cihan AYHANCI, Malik Ejder DENİZ, Ömercan HENEK	Turkey, Turkey, Turkey	Submission 1280
275-286	Feasibility of using steel fibrous waste in cementitious materials	Miloud BEDDAR, Moussa DEGHEFAL	Algeria, Algeria	Mail Submission 6
287-296	Contribution of Complex Fluid Behavior and Gravitational Effects to the Onset of Flow Regime Shifts	Bensilakhal Sarah, Rebhi Redha, Hadidi Nouredine, Ould Iarbi Amina, Lounis Selma	Algeria, Algeria, Algeria, Algeria, Algeria	Submission 1211
297-302	A NEW FREQUENCY SELECTIVE SURFACE DESIGN FOR 5G APPLICATIONS	Abdulkadir CILDIR	Turkey	Submission 1255
303-307	Probe Sonication-Assisted Produced of Reduced Graphene Oxide Using Glucose in Alkaline Conditions: Synthesis and Stability	Neşe KEKLİKCİOĞLU ÇAKMAK	Turkey	Submission 1276
308-314	Analysis of oil fields susceptible to water washing	Andrei Barbulescu, Rita Bejan, Timur Chis	Romania, Romania, Romania	Mail Submission 12
315-323	Risk assessment of contaminating liquefied petroleum gas leaks	Al Jaseem Ameer Maki, Razvan Gaspar, Timur Chis, Monica Tegledi	Romania, Romania, Romania, Romania	Mail Submission 13
324-329	Kropotkin'in Anarşizm Kuramında Devlet, Kapitalizm ve Özgürlükçü Toplumsal Yapılar	Ömer TAYLAN	Turkey	Submission 1149

Content of Abstract Papers

Page No	Title	Authors	Country	Submission ID
1	CLINICAL COURSE OF PRESSURE INJURIES, COMPLICATIONS, AND NURSING APPROACHES	Sultan Özkan, Berna Evcimen	Turkey, Turkey	Mail Submission 2
2	Biyofilik Tasarım Kapsamında Konut İç Mekân Tasarım Örneklerinin İrdelenmesi	Çiğdem Belgin Dikmen, Yelda Durgun Şahin	Turkey, Turkey	Mail Submission 3
3	Harita Okuyarak Bir Şehri Keşfetmek: Kanada/Halifax'da Hazine Avı Deneyimi	Yelda Durgun Şahin, Çiğdem Belgin Dikmen	Turkey, Turkey	Mail Submission 4
4	Role of morin in attenuation of metabolic glucose and insulin secretion impairment during hyperglycemia	Muhammad Saad Tariq, Wafa Majeed, Ayesha	Pakistan, Pakistan, Pakistan	Mail Submission 7
5	Evaluation of antioxidant activity of phyllanthus emblica in Freund's complete adjuvant induced rheumatoid arthritis.	Ayesha, Wafa Majeed, Muhammad Saad Tariq	Pakistan, Pakistan, Pakistan	Mail Submission 8
6	Prevalence of poultry dermatitis in Albania	Pamela Barjami, Bejo Bizhga	Albania, Albania	Mail Submission 9
7	AI-Powered Digital Mobility Solutions for Sustainable Urban Transport	Esma UZUNHİSARCIKLI, Mücella ÖZBAY KARAKUŞ, Çiğdem Belgin DİKMEN	Turkey, Turkey, Turkey	Mail Submission 10
8	Comprehensive Theoretical Investigation of an Organic Crystalline Molecule: Molecular Orbitals,	Nour Eddine BENHARKAT, Abdelkader CHOUAIIH,	Algeria, Algeria, Algeria	Submission 1089

	Charge Distribution, and Noncovalent Interaction Analyses	Nouridine BOUKABCHA		
9	Characterization of Cancer Stem-like Subpopulation in HCC: Hypoxia-Induced EZH2 Expression and Invasion Behavior	Imge Kunter	North Cyprus	Submission 1090
10	First-principles investigation of optical and thermoelectric properties of Na ₂ InCu(F/Cl) ₆ double perovskites for energy harvesting devices	H. Kerrai, H. Saadi, E. M. Jalal	Morocco, Morocco, Morocco	Submission 1091
11	Pd/K-OMS-2 Catalyst for the Hydrolysis of Morpholine Borane: Kinetics and Durability	Mehmet Yurderi	Turkey	Submission 1092
12	Structure-Based Design and In Silico Evaluation of a Novel Azo Dye as a Potential CDK2 Inhibitor for Cancer Therapy	Sana Bouanani, Hassiba Bouguerria, Hacem Nemdili, Nesrine Benarous	Algeria, Algeria, Algeria, Algeria	Submission 1093
13	Design and 3D Scanning of a Radial Journal Bearing Using SLA 3D Printing Technology	Fatma Nazlı Özsolak	Turkey	Submission 1095
14	Effect of plant fibers on the physic mechanical properties of concretes	Ben Ammar Ben Khadda	Algeria	Submission 1096
15	Perturbation Analysis for M/PH/1/N Queues with Uncertain Initial Probabilities	Lounes Ameur	Algeria	Submission 1097
16	On the Solutions of Caputo–Hadamard Type Fractional Differential Equations	Aboubaker El-Saddik Bouziane, Berrabah Bendoukha	Algeria, Algeria	Submission 1098
17	Anisakis Prevalence in Atlantic Mackerel from Albanian Retail Shops	Enkeleda Ozuni, Egon Andoni, Doriana Beqiraj, Albana Munga, Gerald Muça, Pëllumb Zalla, Majlind Sulçe	Albania, Albania, Albania, Albania, Albania, Albania, Albania	Submission 1101
18	Effect of a Compatibilizer on the Properties of Polypropylene Composites Reinforced with Natural Fibers for Construction Applications	Kattia YALAOUI, Idris ZEMBOUAI, Mustapha KACI, Brahim REMILA	Algeria, Algeria, Algeria, Algeria	Submission 1103
19	Smart Prediction of Power Usage at EV Charging Stations with Deep Learning Models	Youssef OUKHOUYA ALI, Jamila EL HAINI	Morocco, Morocco	Submission 1105
20	TÜRK HUKUK TARİHİNDE MÜLKİYET HAKKININ TARİHSEL GELİŞİMİ	Kaan Düzdemir	North Cyprus	Submission 1109
21	Tunable Electronic Properties of MOF-74 under Hydrostatic Pressure: Insights from DFT Calculations	Mustafa ERKARTAL	Turkey	Submission 1110
22	Study and Analysis of Machining Defects for CNC Machines	RAHOU M, SEBAA F	Algeria, Algeria	Submission 1111
23	Recovery, storage, and use of green hydrogen in the petroleum industry	ZAKARIA Adjou, DJAMILA Boufades, SOUAD Hammadou née Mesdour, MUSTAPHA Miloudi	Algeria, Algeria, Algeria, Algeria	Submission 1112
24	Development and Characterization of a Biocomposite Based on Clay and Biopolymer	Bouchiba Maria, Rokbi Mansour, Saib Cherif	Algeria, Algeria, Algeria	Submission 1113
25	Comparison of Kinetics, Energy Consumption, and Color Properties of Deadnettle Processing by Hot Air-Assisted Microwave	Muhammed TAŞOVA	Turkey	Submission 1114
26	Investigation of Weak Ion-Acoustic Double Layers in Plasma	Embarka Boutalbi, Leila Ait Gougam Tribeche	Algeria, Algeria	Submission 1118
27	Simulation of the Fouling Phenomenon	Harche Rima, Laoufi Nadia Aicha	Algeria, Algeria	Submission 1119
28	Modeling a Cable Using Line Theory	KOUIDRI Mohammed Ali	Algeria	Submission 1120
29	5th Generation Fighter Jets and Their Role in 21st Century Military Strategy	Kamil Aykurtalp GÜNDÜZ	Turkey	Submission 1122
30	Comparative Analysis of Fuzzy Logic Control and PID Control for Packed U-Cell 5-Level Inverters	Hakim KADRI, Abdelhalim TLEMCANI, Noureddine HENINI	Algeria, Algeria, Algeria	Submission 1124
31	Analysis of Bond Lengths in Bithiophene: Agreement Between Theoretical Calculations and Experimental Data	Oumaima El ouardi, Brahim Fakrach, Hassane Chadli	Morocco, Morocco, Morocco	Submission 1126
32	Enhancing Predictive Maintenance for Aircraft Engines: A Robust Feature Engineering and LSTM Approach for Remaining Useful Life Prediction	A. SEDDAR YAGOUB, S. BENAMMAR	Algeria, Algeria	Submission 1128
33	TÜRK ANAYASA HUKUKUNDA YASAMA DOKUNULMAZLIĞI	Kaan Düzdemir	North Cyprus	Submission 1129
34	Scaffolding in Domain-Specific Language Learning: Integration of Support Strategies in Higher Education	Ketevan Pantsulaia	Georgia	Submission 1132
35	A New Public Key Cryptosystem Based on A Modified Conjugacy Problem in Non-Commutative Group Rings	Ömer KÜSMÜŞ	Turkey	Submission 1133
36	Outage Performance of a single-IRS-aided wireless network	Slimane Benmahmoud, Abdelhalim Rabehi, Fayssal Ouagueni, El-Hadi Meftah	Algeria, Algeria, Algeria, Algeria	Submission 1134
37	RIS-assisted systems in a mixed fading environment: Ergodic capacity	Slimane Benmahmoud, Abdelhalim Rabehi, Fayssal Ouagueni, El-Hadi Meftah	Algeria, Algeria, Algeria, Algeria	Submission 1135
38	Wigner-Ville Distribution for ECG Analysis	Kenza Zaïbak, Fawzia.	Algeria, Algeria	Submission 1136

		Mekideche-Chafa		
39	Integrative Assessment of Metronidazole-Protein Interactions Using Literature-Based QCM Data and In Silico Network Analysis	Nadezhda Nefedova, Sylvia Stamova	Bulgaria, Bulgaria	Submission 1143
40	Lotka-Volterra Sisteminin Asimptotik Kararlılık Analizi	Muhammet ATEŞ, Muzaffer ATEŞ	Turkey, Turkey	Submission 1148
41	State, Capitalism, and Libertarian Social Structures in Peter Kropotkin's Theory of Anarchism	Ömer TAYLAN	Turkey	Submission 1149
42	Vergilendirme Süreçlerinde Yapay Zekâ Uygulamaları: Gelir İdaresi Başkanlığı'nın Dijital Dönüşümü	Ebru DEMİKRIAN ADA	Turkey	Submission 1154
43	Continuous Dependence on Initial Conditions of Mild Solutions to Integro-Differential Equations in Banach Spaces: Stability	Nadia Ikhlef	Algeria	Submission 1155
44	Evaluation of morphological and optical properties of Ba-doped ZnO films after methylene blue dye photodegradation	Hadjer BARKAT, Elhachmi GUETTAF TEMAM, Nour Elhouda MOKRANI	Algeria, Algeria, Algeria	Submission 1158
45	Meta-Analysis of Vibration-Based Methods Used in Skin Cancer Diagnosis	Mehmet Ümit AK	Turkey	Submission 1159
46	THE DEVELOPMENT OF IOT-ENABLED AUTONOMOUS RIVER CLEANING ROBOT	Daniya Insyirah Binti Abdul Mu'izz, Ilya Binti Ismail	Malaysia, Malaysia	Submission 1164
47	Study, Simulation, and Development of a Sound Detector	Fatima Zohra RAHOU	Algeria	Submission 1167
48	Existence results on fractional Langevin-Sturm-Liouville problem via generalized ABC derivatives	Abdelatif Boutiara	Algeria	Submission 1169
49	First-Principles Investigation of the Electronic and Optical Properties of CaTiO ₃ for Optoelectronic Applications	R. Masrour	Morocco	Submission 1170
50	Half-Metallicity and Thermoelectric Behavior in Co ₂ M-Based Heusler Compounds: A DFT and Monte Carlo Approach	R. Masrour	Morocco	Submission 1171
51	Spin-Dependent Electronic Structure and Thermoelectric Behavior of Chromite Spinel: A DFT Approach	R. Masrour	Morocco	Submission 1172
52	IoT-Based Smart Parking Management System	Nurhazwinna Binti Rusli, Ts. Ilya Binti Ismail	Malaysia, Malaysia	Submission 1173
53	Synthesis and Study of the Effect of Oxygenated Groups on the Inhibitory Properties of New Cinchonine Derivatives for Carbon Steel Corrosion in 1M HCl Solution	Dradi Salma, Youssefi Youssef, Ouassou Nazih, Tanghout Mohamed, El mesky Mohammed, Asoufar Nazih, Yaakoubi Mohamed, El Houssine Mabrouk, Azdoud M'abrek	Morocco, Morocco, Morocco, Morocco, Morocco, Morocco, Morocco	Submission 1176
54	Socioeconomic Consequences of Aging	Muhammet Ali KÖROĞLU	Turkey	Submission 1177
55	Surface Pavement Contour Density Analysis After Rainy Conditions Using Thermal Imaging	Nurfarhanim Safea'ai, Azman Mohamed, Nur Ariena Samsury, Tan Ka Hui, Muhammad Akbar Caronge	Malaysia, Malaysia, Malaysia, Malaysia, Indonesia	Submission 1183
56	Chemistry Studies Electrochemistry and molecular dynamics of organic additives for electrodeposited Zn-Ni alloys	Nazih Ribouh, Yassira Boutaleb, Rabah Rehamnia	Algeria, Algeria, Algeria	Submission 1184
57	Synthesis and Biological Evaluation of Hydrazones Using Isolated Cholic Acid	Talha Mashhood, Akbar Ali, Shehar Bano, Muhammad Ibrahim	Pakistan, Pakistan, Pakistan, Pakistan	Submission 1185
58	Synthesis and Biological Screening of Amides using Coumarin-3-Carboxylic Acid	Shehar Bano, Muhammad Ibrahim, Talha Mashhood, Akbar Ali	Pakistan, Pakistan, Pakistan, Pakistan	Submission 1186
59	Performance and Security Analysis of ACO-AODV Protocol in Urban VANET Environments	Neila Berrekchi Berrahma, Merahi Bouziani, SofianeBoukli-Hacene, Chahinaz Kandouci	Algeria, Algeria, Algeria, Algeria	Submission 1190
60	Electromagnetic Simulation and Performance Analysis of an 8 kW BPMOR Motor for Electric Mobility	Hani TERFA, Saad CHAOUCH, Sid-Ali RANDI, Younes HAMACHE, Sayah MERAZI	Algeria, Algeria, Algeria, Algeria, Algeria	Submission 1199
61	DFT-Based Analysis of Structural, Electronic, and Thermal Properties of AgAl(Si _{1-x} Se _x) ₂ Chalcopyrite Alloys	Beloufa Nabil, Ouled Ali Mohammed, Rebab Djabri Hamza	Algeria, Algeria, Algeria	Submission 1200
62	1D-CNN and Transformer-Based Dynamic Hand Gesture Recognition Method for UAV Flight Controls	Gürkan DOĞAN, Andaç İMAK	Turkey, Turkey	Submission 1202
63	A New Model Based on Convolutional Neural Network for Hand Gesture-Based UAV Control	Gürkan DOĞAN, Andaç İMAK	Turkey, Turkey	Submission 1203
64	Effects of incinerated sewage sludge in porous concrete	BAALI Saad, MAZA Mekki, RAHMOUNI zine EL Abidine	Algeria, Algeria, Algeria	Submission 1204
65	Thermal Management in Hydrogen Fuel Cell Vehicles: Current Techniques and Future Directions	Btissam MEKAOUI, Jamila ELHAINI	Morocco, Morocco	Submission 1205
66	Non-Cooperative Game Theory-Based Dynamic Resource Management for Optimizing Resource	Ahmet Faruk PALA, Senanur PAKSOY, Gülşah	Turkey, Turkey, Turkey, Turkey	Submission 1212

	Utilization in Java Applications	KARADUMAN, Erdal Özbay		
67	Professional Risk Assessment and Single Document: A Case Study of the Pipe Manufacturing Company ALFAPIPE, GHARDAIA-Algeria	Aouimer Yamina, Ghezail Abdi, Chouaouti Khaled Akram, Fares Walid	Algeria, Algeria, Algeria, Algeria	Submission 1214
68	Study and Simulation of a Power Line Communication System	Samia Gamouh, Naima Touafek , Soraya Gouder, Chahra Boukaous	Algeria, Algeria, Algeria, Algeria	Submission 1216
69	Design and analysis of metallic structures through the use of SolidWorks and OpenRocket	Beldjebel Issam, Sekkour Hamida	Algeria, Algeria	Submission 1217
70	Artificial Intelligence-Based Optimization Framework for Smart Campus Environments: Enhancing Efficiency, Comfort, and Safety	Abdalhadi Manassra, Gürkan Işık	Turkey, Turkey	Submission 1218
71	Identifying a Maastrichtian Paleogeographic Barrier in the Western High Atlas (Morocco): Insights from Sentinel-2 Remote Sensing	Naji Jdaba, Ahmed Algouti, Ali Aydda, Mohcine Jdaba	Morocco, Morocco, Morocco, Morocco	Submission 1219
72	Ichnological and Paleontological Characterization of the Cretaceous Deposits in the Ait Abbes section, Marrakech High Atlas	Mohcine Jdaba, Ahmed Algouti, Naji Jdaba	Morocco, Morocco, Morocco	Submission 1220
73	Hysteresis Behavior in a Bilayer Graphene System with Spins 1/2 and 7/2	Mohammed SALAMA	Morocco	Submission 1221
74	Tensile Characteristics in Epoxy Composites: Assessing TARMAT, Woven Glass, and Woven Carbon Fiber Reinforcements	Adel Deliou, Mohamed Chaour, Khmissi Belkaid, Meriem Dehbi, Abdelkader Fidjah	Algeria, Algeria, Algeria, Algeria	Submission 1223
75	Towards Hybrid Strategies for Classifying Subjects in Scientific Publications: Comparing Traditional, ML and Model-Driven Methods	Ayberk BALTACI, Arzum KARATAŞ	Turkey, Turkey	Submission 1224
76	Injection Timing Optimization in Dual-Fuel Engines: A Numerical Approach to Combustion and Emission Analysis	Şevket Onur Kılıç, Furkan Yazıcı and Serdar Halis	Turkey, Turkey, Turkey	Submission 1225
77	Genotoxicity and potential cytotoxicity of Emamectin Benzoate (EMB) in Wistar rat liver cells and the effect of ascorbic acid	Kamel A, Oudahmane -Akdader S, Hamouli-Said Z	Algeria, Algeria, Algeria	Submission 1226
78	Tetraetil Ortosilikat (TEOS) Bazlı Fiberlerin Elektroelime ile Üretimi ve Değerlendirilmesi	Nida Tezgel, Yıldız Yaralı Özbek, Kristýna Jílková, Martin Havlík Mika	Turkey, Turkey, Czech Republic, Czech Republic	Submission 1228
79	Valorization of Legumes in the Development of a Functional Fermented Plant-Based Beverage	Sonia BENSIDHOUM, Hafida MERZOUK, Fatiha BRAHMI, Sofiane DAIRI, Sabine CHABANE, Nadia BOUAUDIA-MADI, Nedjima DEBBOU-IOUKNANE	Algeria, Algeria, Algeria, Algeria, Algeria, Algeria	Submission 1230
80	Federated Learning Hyperparameter Optimization using Differential Evolution Algorithm: An Application for Breast Cancer Prediction	Harun AKBULUT	Turkey	Submission 1231
81	Smart Energy Management for Sustainable Power Supply in Hybrid PV–Wind Systems with Battery and Supercapacitor Storage	Nadia Douifi	Algeria	Submission 1234
82	The Evolution and Future Prospects of Web GIS: From Static Maps to Intelligent 3D Systems	Tasnim Alasali, Omar Dakkak, Ismail Rakip Karas, Yousef Fazea	Turkey, Turkey, Turkey, USA	Submission 1238
83	SMART FARMING-AI POWERED CROP YIELD OPTIMISATION	Bandi Doss, M.Papa, B.Thanuja	India, India, India	Submission 1102
84	From Trauma to Justice: Understanding Sexual Violence in Georgia through Psychoanalytic and Social Learning Theory	Nino kitoshvili, Teona Mujirishvili	Georgia,	Submission 1193
85	Resident Doctors' Perceptions and Barriers to Health Research Participation in Bayelsa State Nigeria	Ulunma Ikwuoma Mariere, Hakeem Babatunde Fawehinmi, Stella Ufuoma Rotifa, Hilda Chinwe Afakwa-Adimoha, Andrew Igho Joe	Nigeria, Nigeria, Nigeria, Nigeria, Nigeria	Submission 1195
86	Smart Pill Reminder Box with SMS and Telegram Notification System	Sharifah Ayuni binti Syed Rosli	Malaysia	Submission 1209
87	The impact of institutional quality on firm innovation: evidence from Asian countries	Zeshan Abbas Khan, Anam Shehzadi	Pakistan, Pakistan	Submission 1240
88	The Impact of Renewable Energy Consumption and Economic Complexity on Environmental Sustainability: A Panel Data Analysis of OECD Countries	Kemal Erkişi	Turkey	Submission 1243
89	Digitalization and Financial Inclusion: Examining their Impact on Poverty Reduction in Sub-Saharan Africa	Kemal Erkişi	Turkey	Submission 1247
90	Influence of Solid-State Reaction Parameters on the Microstructure and Dielectric Properties of $\text{Pb}_{0.94}\text{Sr}_{0.06}[(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})(\text{Al}_{0.5}\text{Sb}_{0.5})_{0.05}]\text{O}_{2.94}\text{F}_{5.88}$ Ceramics	Bahia Messai, Rachid Makhoulfi	Algeria, Algeria	Submission 1248
91	Title: Valorization of Olive Pomace: A Sustainable Approach to Bioactive Compound Recovery and	GUERBOUB Lynda, SOUFI Ouahiba, OULDSAAADI Linda,	Algeria, Algeria, Algeria, Algeria	Submission 1249

	Application	Gueboub Fairouz		
92	Microstructural and Dielectric Analysis of $Pb_{1-x}Sr_x[(Zr_{0.52}Ti_{0.43})(Al_{0.5}Sb_{0.5})_{0.05}]O_{3-x}F_{2x}$ Ceramics Across MPB Region	Bahia Messai, Rachid Makhloufi	Algeria, Algeria	Submission 1251
93	STRUCTURAL AND ELECTRICAL CHARACTERIZATION OF SRF ₂ -MODIFIED PZT CERAMICS NEAR THE MORPHOTROPIC PHASE BOUNDARY	Bahia Messai, Rachid Makhloufi	Algeria, Algeria	Submission 1253
94	A Novel Eco-Friendly Approach to Corrosion Protection of XC70 Steel Using Ricinodendron heudelotii Almond Extract in Acidic Medium	Katia Nasri, Nadia Ait Ahmed, Nabila Aliouane, Amor Azizi	Algeria, Algeria, Algeria, Algeria	Submission 1258
95	Temporal Changes in Root Biomass in Chestnut Coppices of Different Ages	Ali Kemal Özbayram	Turkey	Submission 1259
96	Crude oil migration in reservoir rocks	Andrei Barbulescu, Rita Bejan, Timur Chis	Romania, Romania, Romania	Mail Submission 11
97	FeNi3 Crystallization Unveiled: A Density Functional Theory Approach	Fayçal Baira, Sara Zidani, Kaouther Baira	Algeria, Algeria, Algeria	Submission 1265
98	Smart Prediction of Eco-Concrete: AI Modeling of Mineral-Enhanced RCA Mixes	Abba Fatiha, Ezzaine Karim, Derrick Mirindi, Farid Abed, Adjoudj Mhamed	Algeria, Algeria, Algeria, United Arab Emirates, Algeria	Submission 1266
99	Investigation of sterilization technology-A brief overview	Neşe KEKLİKCİOĞLU ÇAKMAK	Turkey	Submission 1245
100	The vibration of Plates with variable Elastic Foundations Using FSDT Theory Considering Porosity Effects	Kenza DJILALI DJEBBOUR, Mokhtar Nebab, Hassen Ait Atmane	Algeria, Algeria, Algeria	Submission 1272
101	Tedarik Zincirinde Endüstri 5.0'ın Uygulanmasının Önündeki Engellerin Değerlendirilmesi	Kısmet Cingöz	Turkey	Submission 1277
102	Deep Learning Approach for Disease Detection in Canine	Yasin AKMAN, Şakir TAŞDEMİR, Nuriza ZAMİRBEKOVA ERDOĞAN	Turkey, Turkey, Turkey	Submission 1278
103	A Comparative Study of ResNet and SE-ResNet Architectures on Medical Image Datasets	Feyza Gizem GÜLER, Sara ALTUN GÜVEN, İrem ERSÖZ KAYA	Turkey, Turkey, Turkey	Submission 1275

COMMITTEE

ORGANIZING COMMITTEES

Assoc. Prof. Admir Jance, European University of Tirana
Assoc. Prof. Elif Küçük Durur, Atatürk University
Assoc. Prof. Nermin Kişi, Zonguldak Bülent Ecevit University
Assoc. Prof. Ülhak Çimen, Atatürk University
Dr. Krisztina Czakoova, J. Selye University
Dr. Ondrej Takac, J. Selye University
Dr. Ladislav Vegh, J. Selye University

SCIENTIFIC COMMITTEES

Prof. Dr. Abdurazzag Ali Aburas, University of Kwazulu-Natal
 Prof. Dr. Adnan Sözen, Gazi University
 Prof. Dr. Amit Soni, Manipal University
 Prof. Dr. Anis Koubaa, Prince Sultan University
 Prof. Dr. Carlos A. Coelho, Universidade Nova de Lisboa
 Prof. Dr. Josep Guerrero, Aalborg University
 Prof. Dr. Juan Vasquez, Aalborg University
 Prof. Dr. Laszlo T. Koczy, Budapest University of Technology and Economics
 Prof. Dr. Mohammad Ashraf Gondal, King Fahd University
 Prof. Dr. Murat Yakar, Mersin University, Turkey
 Prof. Dr. Muhammad Rashid, University of West Florida
 Prof. Dr. Saad Mekhilef, Malaya University
 Prof. Dr. Salim Ibrir, King Fahd University
 Prof. Dr. Subarna Shakya, Tribhuvan University
 Prof. Dr. Suzuki Hisashi, Chuo University
 Prof. Dr. Usha Mehta, Institute of Technology, Nirma University
 Prof. Dr. Vagif Gasimov, Azerbaijan Technical University
 Prof. Dr. Weidong Zhu, University of Maryland
 Assoc. Prof. Ali Hakan Işık, Burdur Mehmet Akif Ersoy University
 Assoc. Prof. Amita Nandal, Manipal University
 Assoc. Prof. Aslan İnan, Yıldız Teknik University
 Assoc. Prof. Atif Iqbal, Qatar University
 Assoc. Prof. Elif Küçük Durur, Atatürk University
 Assoc. Prof. Francesco Cottone, University of Perugia
 Assoc. Prof. Farid Melgani, University of Trento
 Assoc. Prof. Halit Öztekin, Sakarya Applied Science University
 Assoc. Prof. Hamdy Ziedan, Assiut University
 Assoc. Prof. Harun Kemal Öztürk, Pamukkale University
 Assoc. Prof. Jiri Pela, Brno University of Technology
 Assoc. Prof. Merih Palandöken, İzmir Katip Çelebi University
 Assoc. Prof. Nermin Kişi, Zonguldak Bülent Ecevit University
 Assoc. Prof. Rita Ismailova, Kyrgyz Turkish Manas University
 Assoc. Prof. Sadia Samar Ali, King Abdul-Aziz University
 Assoc. Prof. Ülhak Çimen, Atatürk University
 Assoc. Prof. Tanmay De, National Institute of Technology Durgapur
 Assoc. Prof. Zeashan Khan, Air University
 Dr. Ali Almisreb, International University of Sarajevo
 Dr. Amina Othmani, University of Monastir-Tunisia
 Dr. Arti Jain, Jaypee Institute of Information Technology
 Dr. Arun Kumar Verma, Malaviya National Institute of Technology Jaipur
 Dr. Aziz Shah, University of Glaskow
 Dr. Bal Chand Nagar, ECE National Institute of Technology Patna
 Dr. Baoze Wei, Aalborg University
 Dr. Bohumil Brtník, University of Pardubice
 Dr. Diptiranjana Behera, The University of the West Indies at Mona
 Dr. Fayçal BENSALI, Qatar University
 Dr. Fugui Qi, Fourth Military Medical University
 Dr. Magdi S. Mahmoud, King Fahd University
 Dr. Mariya Ouassia, Moulay Ismail University
 Dr. Merdaci Slimane, University of -Sidi Bel Abbés, Algeria
 Dr. Moharram Challenger, Antwerp University
 Dr. Muhammad Sultan, Zakariya University
 Dr. Lesya Anishchenko, Bauman Moscow State Technical University
 Dr. R.A. Ilyas, Universiti Teknologi Malaysia
 Dr. Sadina Gagula Palalić, International University of Sarajevo
 Dr. Stefania Tomasiello, University of Tartu
 Dr. Syed Omer Gilani, National University of Sciences and Technology (NUST)
 Dr. Tarik Namas, International University of Sarajevo
 Dr. Uduak A. Umoh, University of Uyo
 Dr. Yajuan Guan, Aalborg University

**5TH INTERNATIONAL CONFERENCE
ON SCIENTIFIC AND INNOVATIVE
STUDIES ICSIS 2025
JULY 15-16, 2025**

25.07.2025

15-16 Temmuz 2025 tarihlerinde MEET üzerinden çevrimiçi olarak gerçekleştirilen 5th International Conference on Scientific and Innovative Studies ICSIS 2025 konferansı akademik teşvik yönetmeliğinin 9. Maddesine istinaden “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.” kriterlerini sağlamaktadır. Toplam 146 adet bildirinin yer aldığı kongre iki gün boyunca çevrimiçi olarak gerçekleştirilmiştir.

Türkiye dışından toplam 15 farklı ülkeden (**Kuzey Kıbrıs, Birleşik Arap Emirlikleri, Malezya, Endonezya, Nijerya, Fas, Cezayir, Pakistan, Romanya, Arnavutluk, Gürcistan, Bulgaristan, Çek Cumhuriyeti, Hindistan, Irak**) katılım sağlanmış olup, 146 adet bildirinin 82 (%56,16) tanesi yabancı katılımcı tarafından sunulmuştur.

Kongremize ilginiz için teşekkür ederiz.

Saygılarımızla,



All Sciences Academy

**5TH INTERNATIONAL CONFERENCE
ON SCIENTIFIC AND INNOVATIVE
STUDIES ICSIS 2025
JULY 15-16, 2025**

25.07.2025

15-16 Temmuz 2025 tarihlerinde MEET üzerinden çevrimiçi olarak gerçekleştirilen 5th International Conference on Scientific and Innovative Studies ICSIS 2025 Konferansı, 2025 MART DÖNEMİ DOÇENTLİK BAŞVURU ŞARTLARI yönetmeliğinin 2. bölümde yer alan Uluslararası Bilimsel Toplantı tanımlaması “Farklı ülkelerden bilim insanlarının bilim kurulunda bulunduğu ve sunumların bilimsel ön incelemeden geçirilerek kabul edildiği toplantı.” şeklindedir.

5TH ICSIS 2025 konferansı bilimsel komitesinin çoğunluğu yabancı bilim insanlarından oluşmaktadır. Aşağıdaki link ile bilimsel komite incelenebilir:

<https://as-proceeding.com/index.php/icsis/committe>

Ayrıca konferansımızda hakem değerlendirmesi olup hakem değerlendirmesi olumlu sonuçlanmadan ücret talebinde bulunulmamaktadır.

2024 MART DÖNEMİ DOÇENTLİK BAŞVURU ŞARTLARI yönetmeliğinin 8. bölümde yer alan Bilimsel Toplantı tanımlamasının b bendindeki “Diğer Uluslararası/Ulusal bilimsel toplantının düzenlenme komitesinde, kurum/tüzel kişilik/karar organı tarafından resmi olarak görevlendirilmiş üniversite/enstitü/bilimsel kurum/branş derneği akademisyen temsilcisi bulunması zorunludur.” şeklindedir.

5TH ICSIS 2025 konferansı düzenleme komitesinde farklı kurumlar tarafından görevlendirilmiş birden fazla üniversiteden akademik temsilciler bulunmaktadır. Aşağıdaki link ile düzenleme komitesindeki akademik temsilcilerin görevlendirme yazıları incelenebilir:

<https://drive.google.com/file/d/1eZalxRl8q6-eXATZzwUraH9KOhtQzFho/view>

Ayrıca görevlendirme yazıları ilgili konferansın özet ve tam metin kitapçıklarında yer almaktadır.

Kongremize ilginiz için teşekkür ederiz.

Saygılarımızla,



All Sciences Academy



04.09.2023

LETTER OF ASSIGNMENT

We confirm that Ing. Ondrej Takáč, PhD. working at J. Selye University takes part in the organization committee of the conferences organized by of All Sciences Academy.

Confirmation of the Vice Dean of the Faculty of Economics and Informatics

Name of Responsible Person and Signature:

Name and Surname

Sign:

PhDr. Imrich Antalík, PhD.

Date: 04.09.2023

UNIVERZITA J. SELYE
J. SELYE JÁNOS EGYETEM
FELMÉRÉSI ÉS INFORMATIKAI KARRAL
Bratislava 167/21, 945 01 Komárno -1-



04.09.2023

LETTER OF ASSIGNMENT

We confirm that PaedDr. Ladislav Végh, PhD. working at J. Selye University takes part in the organization committee of the conferences organized by of All Sciences Academy.

Confirmation of the Vice Dean of the Faculty of Economics and Informatics

Name of Responsible Person and Signature:

Name and Surname

Sign:

PhDr. Imrich Antalík, PhD.

Date: 04.09.2023

UNIVERZITA J. SELYE
SELYE JÁNOS EGYETEM
GAZDASÁGTUDOMÁNYI ÉS INFORMATIKAI KAR
Bratislava 167/21, 945 01 Komárno -1-

16.08.2023

LETTER OF ASSIGNMENT

We confirm that Prof. Assoc. Dr. Admir Jançe, who is employed full-time as a lecturer, as well as holding the position of Head of the Imaging Department and Vice Dean of the Faculty of Technical Medical Sciences, takes part in the organization committee of the conferences organized by of All Sciences Academy.

Confirmation of the Rector/Dean/Vice Dean/Head of Department

Name of Responsible Person and Signature:

Rector: Prof. Dr. Tonin GJURAJ



Date: 16.08.2023

15.09.2023

İlgili Makama

Atatürk Üniversitesi İletişim Fakültesinde görev yapan Doçent Doktor Ülhak Çimen'in All Sciences Academy yayınevi ile beraber düzenlenmesi planlanan konferanslarda ve organizasyonlarda düzenleme veya bilim kurullarında yer alması uygun görülmüştür.

Gereğini rica ederim.

Ad ve Soyad

Prof. Dr. Adem YILMAZ

Dekan

Tarih 15.09.2023

İmza:

Prof.Dr. Adem YILMAZ
DEKAN

15.09.2023

İlgili Makama

Atatürk Üniversitesi İletişim Fakültesinde görev yapan Doçent Doktor Elif Küçük DURUR'un All Sciences Academy yayınevi ile beraber düzenlenmesi planlanan konferanslarda ve organizasyonlarda düzenleme veya bilim kurullarında yer alması uygun görülmüştür.

Gereğini rica ederim.

Ad ve Soyad	İmza:
Prof. Dr. Adem YILMAZ	
Dekan	Prof.Dr. Adem YILMAZ
Tarih 15.09.2023	DEKAN



04.09.2023

LETTER OF ASSIGNMENT

We confirm that PaedDr. Krisztina Czakóová, PhD. working at J. Selye University takes part in the organization committee of the conferences organized by of All Sciences Academy.

Confirmation of the Vice Dean of the Faculty of Economics and Informatics

Name of Responsible Person and Signature:

Name and Surname

Sign:

PhDr. Imrich Antalík, PhD.

Date: 04.09.2023

UNIVERZITA J. SELYEHO
J. SELYE JÁNOS EGYETEM
FIZIKAI, MATEMATIKAI ÉS INFORMATIKAI KAR
Hradná 167/21, 930 01 Komárno - 4 -



T.C.
ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
Çaycuma Meslek Yüksekokulu Müdürlüğü



Sayı : E-84604848-903.07.04-371012
Konu : Bilimsel Toplantı Görevlendirme

01.11.2023

İLGİLİ MAKAMA

İlgi : Öğretim Üyesi Doç. Dr. Nermin KİŞİ'nin 30.10.2023 tarihli dilekçesi.

Yüksekokulumuz Yönetim ve Organizasyon Bölümü Öğretim Üyesi Doç. Dr. Nermin KİŞİ'nin "All Sciences Academy Yayınevi"nin düzenleyeceği bilimsel toplantıların düzenleme ve bilim kurullarında görev almasında Yüksekokulumuzca bir sakınca bulunmamaktadır. İş bu belge ilgilinin isteği üzerine tanzim edilmiştir.

Bilgilerinizi ve gereğini rica/arz ederim.

Doç. Dr. Hikmet YAZICI
Meslek Yüksekokulu Müdürü

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

Belge Doğrulama Kodu : BSELS3BZ2K Pin Kodu : 43472

Belge Takip Adresi : <https://www.turkiye.gov.tr/bulent-ecevit-universitesi-ebys>

Adres : BEÜ Çaycuma Meslek Yüksekokulu, 67900, Çaycuma, Zonguldak
Telefon : (0372) 643 66 01 Faks:(0372) 643 66 04
e-Posta : caycumamyo@beun.edu.tr Web : <https://cmyo.beun.edu.tr/>
Kep Adresi : beun@hs03.kep.tr

Bilgi için : Tülay KEÇECİ
Unvanı : İşçi



Dijital Etik ve Etkileri

Kübra ERASLAN^{1*} ve Serap KALFAOĞLU²

¹YL Öğr., İKY ABD/Sosyal Bilimler Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya/Türkiye

²Doç. Dr., İşletme Bölümü/İİBF, Selçuk Üniversitesi, Konya/Türkiye

*(kubraeraslan@windowslive.com)

Özet – Bu çalışmada dijital teknolojilerin bireylerin mahremiyet algısı, etik karar alma süreçleri ve toplumsal düzeyde eşitlik, adalet ve kültürel değişim üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Özellikle yapay zekâ, sosyal medya ve kişisel veri güvenliği gibi alanlarda ortaya çıkan etik sorunlar ele alınmıştır. Bulgular, dijital etiğin bireylerin mahremiyet bilincini artırdığını, ancak toplumsal düzeyde dijital eşitsizlikler ve veri güvenliği endişeleri gibi yeni sorunlar yarattığını göstermektedir. Dijitalleşmenin yaşamın her alanında hızlı bir dönüşüme sebep olması, son beş yılda dijital etik kavramının önemini oldukça artırmıştır. Mahremiyet ihlalleri, algoritmik önyargılar ve dijital uçurum gibi sorunlar, etik çerçevelerin ve politikaların acilen geliştirilmesini gerektirir. Şeffaflık, hesap verebilirlik ve adalet odaklı yaklaşımlar benimsenerek, dijital çağın sunduğu fırsatlar herkes için erişilebilir hale getirilebilir ve teknolojinin insanlık için bir nimet olması sağlanabilir.

Anahtar Kelimeler – Dijital etik, mahremiyet, veri gizliliği, yeni medya, yapay zeka, bireysel ve toplumsal etkiler

I. GİRİŞ

Günümüzde teknoloji ve dijitalleşme, bireylerin ve toplumların yaşamında merkezi bir rol oynamaktadır. Kamu hizmetlerinin tasarımı ve sunumuna, çalışma hayatının dinamiklerinden medya pratiklerine kadar pek çok alanda dijital teknolojiler dönüştürücü bir etki yaratmıştır [1, 2]. Bu hızlı dönüşüm, verimlilik artışı, hızlı karar alma ve yeni olanaklar sunarken, aynı zamanda daha önce karşılaşmamış etik tartışmaları da beraberinde getirmiştir. Dijitalleşmenin yaygınlaşmasıyla birlikte ortaya çıkan bu etik meseleler hem mevcut önlemlerin uygulanabilirliğini hem de gelecekteki politika ve stratejilerin oluşturulmasını zorunlu kılmaktadır.

Son yıllarda dijital teknolojiler, bireylerin ve toplumların yaşam biçimlerini radikal bir değişikliğe uğratmıştır. Yapay zekâ, sosyal medya platformları ve veri odaklı teknolojiler, bireysel mahremiyetten toplumsal adalete kadar geniş bir yelpazede etik sorunlar gündeme getirmiştir. Araştırma, özellikle bireylerin dijital ortamlardaki davranışlarını, mahremiyet algılarını ve toplumsal düzeyde ortaya çıkan eşitsizlikleri ele almaktadır.

Günümüzde teknolojik gelişmelerin ivmesi, bireylerin ve toplumların dijital dünyaya entegrasyonunu kaçınılmaz hale getirmiştir. TÜİK'in 2024 yılı "Hanehalkı Bilişim Teknolojileri (BT) Kullanım Araştırması"na göre internet kullanım oranı, 16-74 yaş grubundaki bireylerde 2023 yılında %87,1 iken 2024 yılında %88,8 olmuştur. Cinsiyet ayrımında 2024 yılında internet kullanım oranı erkeklerde %92,2, kadınlarda %85,4 olarak gözlenmiştir [3].

İnternet ve bilgisayar teknolojilerinin yaşamın merkezine yerleşmesiyle birlikte [4], dijitalleşme sadece ekonomik ve toplumsal faydalar sağlamakla kalmamış, aynı zamanda kendine özgü bir dizi etik sorun ve ikilemi de beraberinde getirmiştir [5]. Dijital etik, bu yeni dijital ortamda ortaya çıkan ahlaki değerleri, prensipleri ve davranış kurallarını inceleyen bir disiplin olarak öne çıkmaktadır. Özellikle son beş yılda, yapay zekâ, büyük veri, nesnelerin interneti ve sosyal medya gibi teknolojilerin yaygınlaşmasıyla birlikte dijital etiğin bireysel ve toplumsal yaşam üzerindeki etkileri daha belirgin hale gelmiştir. Bu çalışma,

dijital etiğin son beş yıldaki gelişimini, bireysel ve toplumsal düzeydeki yansımalarını, özellikle mahremiyet, veri gizliliği, yeni medya ve yapay zekâ ekseninde ele alacaktır.

II. DİJİTAL ETİK KAVRAMI

Dijital etik, teknolojinin evrimiyle ortaya çıkan yeni etik değerleri, prensipleri ve davranış kurallarını içerir. Etik, tarih boyunca günlük yaşamın ve ticaret dünyasının biçimlenmesinde önemli bir rol oynamıştır. Küreselleşme ve internetin yaygınlaşmasıyla birlikte ise etik tartışmalar yeni boyutlar kazanmıştır [6]. Dijital dönüşüm bağlamında etik, şirketlerin karşılaştığı fırsat ve zorlukları daha iyi anlamak için dijital teknolojiler içerisinde etiğin rolünü keşfetmeyi amaçlar.

Dijital etiğin yükselişi, bireylerin ve kurumların dijital ortamdaki sorumluluklarını anlamalarını ve bu sorumluluklara uygun hareket etmelerini zorunlu kılmaktadır. Son yıllarda dijital etik alanındaki çalışmaların sayısında belirgin bir artış gözlemlenmiştir. Kuh ve Dinçer Gültekin (2025) tarafından yapılan bibliyometrik analiz, dijital etik üzerine yapılan çalışmaların 2017'den sonra hızla artış gösterdiğini ve özellikle 2020-2024 yılları arasında zirveye ulaştığını ortaya koymuştur. Bu çalışmalar, yapay zekâ etiği, veri gizliliği ve sürdürülebilirlik gibi odak noktaları etrafında yoğunlaşmaktadır. Bu durum, dijitalleşmenin getirdiği etik sorunların aciliyetini ve bilimsel dünyanın bu konulara olan ilgisini açıkça göstermektedir [7].

A. Kavramsal Temeller ve Felsefi Boyutlar

Dijital etik, teknolojinin sunduğu yeni imkanların yanında sebep olduğu sorunlar karşısında ahlaki değerlerin yeniden tanımlanmasını sağlamıştır. Kutsenko (2024), dijital etiği modern toplumun gelişimindeki temel bir sorun olarak görmekte ve felsefi bir bakış açısıyla dijitalleşmenin getirdiği zorlukları incelemektedir. Bu yaklaşıma göre, dijital etik sadece teknik kurallardan ibaret olmayıp, insanlığın değer sistemleri, özgürlük, sorumluluk ve adalet gibi temel felsefi kavramlarla yakından ilişkilidir. Dijitalleşme süreci, insan ve bilgi arasındaki ilişkiyi yeniden şekillendirirken, ahlaki normların da bu dönüşüme ayak uydurması gerektiğini vurgulamaktadır [8]. Bu felsefi temeller, dijital etiğin bireysel ve toplumsal etkilerini anlamak için sağlam bir zemin sunmaktadır.

B. Yapay Zekâ ve Etik Tehditler

Yapay zekâ teknolojisinin hızla gelişen doğası, suç işleme yöntemlerinden suçun tespitine kadar birçok alanda etkili olmaya başlamıştır. Yapay zeka ile suç arasındaki ilişki, algoritmaların kötüye kullanımı, kişisel veri ihlalleri, manipülasyonlar ve gözetim teknolojileri gibi birçok farklı boyutu içermektedir. Yapay zeka destekli sistemlerin suça karışma veya suç işleme olasılığı önemli bir tehlike olarak değerlendirilmektedir. Örneğin, sahte kimlik oluşturma, siber saldırılar ve sosyal mühendislik yöntemleriyle dolandırıcılık, yapay zekanın kötüye kullanılabileceği kilit alanlardır. Bu bağlamda, yapay zekanın güvenli kullanımını destekleyecek etik ve hukuki çerçevelerin oluşturulması kritik öneme sahiptir. Mevcut düzenlemelerin gözden geçirilmesi ve bu teknolojilere özgü yeni yasaların oluşturulması gerekmektedir. Etik açıdan, bireylerin mahremiyet haklarını korumak için farkındalığın artırılması elzemdir [9].

Dijital hizmetlerin modern toplumun ayrılmaz bir parçası haline gelmesiyle birlikte, etik sonuçlarının ele alınması giderek daha kritik hale gelmiştir. Verilerin kötüye kullanımı, siber güvenlik riskleri, şeffaflık eksikliği, eşitsizlik ve sürdürülebilirlik gibi konular, dijital hizmetlerin etik boyutunda öne çıkan endişelerdir [1].

C. Bireysel Etkiler

Dijital etik, bireylerin teknolojiyle etkileşimlerini şekillendiren önemli bir alan haline gelmiştir. Özellikle kişisel verilerin korunması, bireylerin dijital ortamlarda karşılaştığı temel etik sorunlardan biridir.

Dijital çağda bireylerin en temel haklarından biri olan mahremiyet, ciddi dönüşümler geçirmektedir. Akman ve Övgün (2022) çalışmalarında dijitalleşmenin mahremiyet olgusunu kişisel bilgi/veri düzleminde olumsuz etkilediğini ve mahremiyetin devlete ve sermayeye karşı kaybedildiği tezini savunmaktadır [5]. Bireylerin çevrimiçi platformlarda bıraktığı her türlü iz, kişisel verilerin toplanmasına,

analiz edilmesine ve hatta manipülatif amaçlarla kullanılmasına olanak tanımaktadır. Bu durum, özellikle sosyal medya kullanımının yaygınlaşmasıyla birlikte bireylerin kişisel bilgilerini koruma konusundaki farkındalık eksikliğini de ortaya koymaktadır [4]. Gelişen teknoloji, gizli dinleme ve gizli izleme faaliyetlerini kolaylaştırmakta, bu da "özel yaşam alanının" ihlal edilmesi riskini artırmaktadır [10]. Bireyler, dijital ayak izlerinin farkında olmadan, kişisel bilgilerinin rızaları dışında kullanılması gibi etik sorunlarla karşı karşıya kalabilmektedir. Bu durum, kişisel özerklik ve kimlik kavramlarını da sorgulatmakta, bireylerin dijital ortamda ne kadar güvende oldukları konusunda endişelere yol açmaktadır.

Kişisel verilerin toplanması ve işlenmesi, bireylerin mahremiyet algısını derinden etkilemiştir. Öztürk (2022), yapay zekâ teknolojilerinin kişisel verileri analiz etme kapasitesinin, bireylerin mahremiyetine yönelik tehditleri artırdığını belirtmektedir. Örneğin, sosyal medya platformları ve yapay zekâ algoritmaları, kullanıcıların davranışlarını izleyerek kişiselleştirilmiş reklamlar sunmakta, bu da bireylerin veri güvenliği konusunda endişelenmesine yol açmaktadır. Bu durum, bireylerin dijital platformlara olan güvenini azaltmakta ve etik farkındalıklarını artırmaktadır [11].

Dijital teknolojilerin en belirgin etkilerinden biri, bireylerin mahremiyetine yönelik tehditlerdir. Kantha ve arkadaşları (2024), Shoshana Zuboff'un "gözetim kapitalizmi" kavramına atıfta bulunarak, kişisel verilerin bireylerin rızası olmadan toplanıp ticarileştirildiğini vurgular. Örneğin, Cambridge Analytica skandalı, 50 milyon Facebook kullanıcısının verilerinin izinsiz kullanılarak siyasi manipülasyon amacıyla analiz edildiğini göstermiştir. Bu durum, bireylerin özel hayatlarına müdahale edilmesine ve özerkliklerinin zedelenmesine yol açmaktadır [12]. Pyrrho (2024), Nissenbaum'ın bağlamsal bütünlük teorisi çerçevesinde, sağlık sektöründe dijital patoloji görüntülerinin kullanımını değerlendirirken, veri güvenliğinin yetersiz olduğunu belirtir. Özellikle, veri anonimleştirme çabalarının, büyük veri kümelerindeki yeniden kimliklendirme riskleri nedeniyle etkisiz kalabileceği uyarısında bulunur. Bu, bireylerin sağlık verilerinin gizliliğini koruma hakkını tehdit eder ve hassas bilgilerin kötüye kullanımına zemin hazırlar. Örneğin, genetik bir hastalığın ifşa edilmesi, bireyin sağlık sigortası veya finansman erişimini engelleyebilir, hatta toplumsal damgalanmaya yol açabilir [13].

Dijital okuryazarlık, bireylerin dijital etiği anlaması ve uygulamasında kritik bir rol oynamaktadır. Öztürk ve Çelik (2023), bireylerin dijital platformlarda etik kararlar alabilmesi için teknoloji okuryazarlıklarına ihtiyaç duyduğunu vurgulamaktadır. Bireylerin, etik yükümlülüklerinin bilincinde olmaları, sosyal mecralarda dezenformasyonla mücadeleyi kolaylaştırmaktadır. Bu bağlamda, dijital okuryazarlık eğitimi, bireylerin etik bilinçlerini güçlendirmekte ve sorumlu dijital vatandaşlar olmalarına katkı sağlamaktadır [14].

D. Toplumsal Etkiler

Dijital teknolojilere erişimdeki eşitsizlikler, toplumsal adalet sorunlarını derinleştirmiştir. Öztürk ve Çelik (2023), dijital teknolojilere erişimi olmayan toplulukların, eğitim ve iş fırsatlarından mahrum kaldığını belirtmektedir. Bu durum, özellikle pandemi döneminde uzaktan eğitim ve çalışma süreçlerinde belirginleşmiştir. Dijital etik, bu eşitsizliklerin azaltılması için etik ilkelerin (ör. adalet ve eşitlik) teknoloji tasarımına entegre edilmesini savunmaktadır [14].

Dijital teknolojiler, toplumsal düzeyde eşitsizlikleri derinleştirme potansiyeline sahiptir. Kantha ve arkadaşları (2024), "dijital uçurum" kavramına dikkat çekerek, teknolojik gelişmelerin genellikle ayrıcalıklı kesimlere fayda sağladığını, ancak marjinalleştirilmiş grupları dışlayabileceğini belirtir. Örneğin, kırsal veya düşük gelirli bölgelerde yaşayan bireyler, dijital altyapıya erişim eksikliği nedeniyle eğitim ve iş fırsatlarından mahrum kalabilir [12]. Pyrrho (2024), dijital sağlık uygulamalarında veri temsiliyetinin önemine işaret eder [13]. Algoritmaların, tarihsel veri setlerindeki önyargıları yansıtmaları durumunda, azınlık gruplarına karşı ayrımcılık riski artar. Örneğin, Amazon'un işe alım algoritmasının, erkek adayları kayırdığı için kadınlara karşı önyargılı olduğu tespit edilmiştir [12]. Bu tür algoritmik önyargılar, toplumsal eşitsizlikleri pekiştirerek adalet ilkesine zarar verir.

Yapay zekâ, toplumsal yapıları dönüştüren bir başka önemli etkidir. Öztürk (2022), yapay zekânın iş gücü piyasasını yeniden şekillendirdiğini ve bu süreçte etik sorunlar ortaya çıkardığını ifade etmektedir.

Örneğin, otomatik karar alma sistemlerinin önyargılı sonuçlar üretmesi, toplumsal ayrımcılığı artırabilir. Bu durum, yapay zekâ sistemlerinin etik ilkelerle geliştirilmesi gerektiğini göstermektedir [11].

Yapay zekâ ve robotik sistemlerin yükselişi, toplumsal yapıyı ve istihdam piyasasını derinden etkilemektedir. Yıldız ve Yıldırım (2018), yapay zekânın kütüphanecilik mesleği üzerindeki olası etkilerini değerlendirirken, bu teknolojinin düşük yetkinlik düzeyindeki işlerden daha nitelikli iş gücü yapısına geçişe neden olacağını vurgulamaktadır. Bu durum, etik açıdan, işsizlik, gelir eşitsizliği ve belirli meslek gruplarının dönüşümü gibi konuları gündeme getirmektedir. Ayrıca, yapay zekâ sistemlerinin karar alma süreçlerinde şeffaflık, hesap verebilirlik ve tarafsızlık gibi etik ilkelerin ne kadar gözetildiği de önemli bir tartışma konusu olmuştur. Algoritmaların önyargıları barındırma potansiyeli, ayrımcılık ve haksız sonuçlara yol açabilir, bu da toplumsal adalet ve eşitlik açısından ciddi etik sorunlar doğurabilir [15].

Dijitalleşme, toplumsal yapıyı, kültürel dinamikleri ve iletişim pratiklerini derinden etkilemektedir. Abdurakhmanov (2024), bilgi toplumunda dijital etiğin kültürel dinamiklerdeki temellerini vurgulayarak, dijitalleşmenin toplumsal değerler, normlar ve davranış kalıpları üzerindeki etkilerini incelemektedir. Dijital platformlar, kültürel etkileşimleri hızlandırmakta ve yeni toplulukların oluşumuna olanak tanımaktadır. Ancak aynı zamanda, dezenformasyonun yayılması, siber zorbalık ve kutuplaşma gibi toplumsal sorunları da beraberinde getirmektedir. İletişim pratiklerindeki değişim, bireylerin ve toplulukların bilgiye erişimini ve bilgiyi yayma biçimlerini dönüştürmüştür. Sosyal medya platformları, her bireyin bir içerik üreticisi olmasını sağlayarak bilgi akışını demokratikleştirmekte, ancak aynı zamanda etik dışı içeriklerin, nefret söyleminin ve manipülatif kampanyaların yayılmasına da zemin hazırlamaktadır. Bu durum, bilgi etiği, medya etiği ve siber güvenlik gibi alanlarda yeni tartışmaları tetiklemektedir. Toplumların dijitalleşme sürecine adaptasyonu, sadece teknolojik altyapının geliştirilmesini değil, aynı zamanda dijital etik bilincinin artırılmasını ve kültürel değerlerin bu yeni ortama uygun şekilde yeniden yorumlanmasını da gerektirmektedir [16].

İş etiği, veri yönetimi için artan organizasyonel hesap verebilirlik talebini sağlamalıdır [6]. Kamuoyunda güvenilir bilgiye artan ihtiyaç, yayın kuruluşlarının dijital ortamdaki tüm yayınlarında halkın güvenini kazanmasını gerektirmektedir. Dünya Basın Birliği, "Başarı için yeni para birimi; güvendir" ifadesini kullanmaktadır [17]. Bu, dijital etik bağlamında güvenilir içeriğin önemini ve organizasyonel hesap verebilirliğin kritik rolünü pekiştirmektedir.

İnternet haberciliği, medya sektörünü çok yeni etik tartışmalarla karşı karşıya bırakmıştır. Bu tartışmalara tıklanma hedefleri, sayfa görüntüleme sayısı, tık tuzağı, yanıltıcı başlıklar ve arama motoru optimizasyonu gibi unsurlar örnek verilebilir. Geleneksel basından dijitalle geçiş sürecinde gazetecilik meslek etiğinin güven üzerindeki etkisi önemli bir konu haline gelmiştir. Kamuoyunda güvenilir bilgiye olan ihtiyacın artmasıyla birlikte, yayın kuruluşlarının dijital ortamdaki tüm yayınlarında halkın güvenini kazanması gerekmektedir. New York Times örneği, internet haberciliği ile geleneksel yayıncılığın başarılı bir şekilde koordine edilmesi ve okuyucuya ulaşmak için tüm araçların etkin kullanılması halinde aldatici başlıklara başvurmadan da başarının mümkün olduğunu göstermiştir. Güvenilir internet gazeteleri daha çok izlenmekte, haber etkileşimi yaratmakta ve gündem belirlemektedir [17].

Medya alanında yaşanan hızlı gelişmeler ve sosyal medyanın yaygın kullanımı, haberlerin yayılma hızını artırmış ve toplumsal etkilerini derinleştirmiştir. Ancak bu durum, etik sorunların ortaya çıkmasına ve ciddi sonuçlar doğurmasına yol açmıştır [18]. Aşağıdaki tablo tüm etik sorunları ve onlara yönelik çözüm önerilerini içermektedir (Tablo 1).

Tablo 1: Yeni Medya ve Sosyal Medya Bağlamında Çeşitli Etik Sorunlar ve Çözüm Önerileri

Etik Sorunlar	Çözüm Önerileri
Gazetecilerin ticari çıkarlar ve bağımsızlık arasındaki çatışma	Medya şirketlerinin bağımsız gazetecilik prensiplerine daha fazla önem vermesi, gazetecilerin kâr amacı güden stratejilere karşı direnmesi
Azınlıkların sosyal adaleti teşvik etme konusunda fayda sağlayan,	Dayanışma ile uyumlu seçici gazetecilik uygulamalarına odaklanılmalı. Doğruluk ve güvenilirlik ön planda

ancak yanlış bilgi ve dil kullanımına neden olan medya alanı.	tutulmalı.
Sosyal medyada marjinalleşmiş toplulukların görüşlerinin eksik temsili	Sosyal medya platformlarının daha kapsayıcı politikalar benimsemesi, marjinalleşmiş toplulukların temsilini artırmak için çaba sarf etmesi
Telif haklarının ihlali ve sahte içeriklerin yaygınlaşması.	Dijital platformlarda telif haklarının korunmasını sağlamak için teknolojik çözümler geliştirilmeli ve uygulanmalı. Sahte içeriklerle mücadele eden algoritmalar ve moderasyon yöntemleri kullanılmalı.
Sosyal medya ve çevrimiçi zorbalık, nefret söylemi.	Sosyal medya platformları, nefret söylemi ve zorbalık içeren içeriklerin tespiti ve kaldırılması için daha etkin yöntemler geliştirmeli. Kullanıcılar arasında bilinçlendirme ve eğitim sağlanmalı.
Dijital manipülasyon ve görsel düzeyde yanıltıcı içerikler.	Dijital manipülasyonun tespiti ve önlenmesi için medya kuruluşları, algoritmalar ve insan denetçilerle desteklenmelidir. İzleyicilere yanıltıcı içeriği tespit etme konusunda rehberlik yapılmalı.
İdeolojik temsillerin etik dışı kullanımı ve haberlerin tarafsızlığının zedelenmesi.	Medya kuruluşları, ideolojik temsillerin kullanımında şeffaf olmalı ve tarafsızlık ilkesine bağlı kalmalı. Haberlerin doğru ve dengeyi yansıtacak şekilde sunulması önemlidir.
Savaş gazeteciliğinde baskılar ve gerçeğin manipüle edilmesi.	Savaş muhabirlerine etik eğitimler verilmeli ve tarafsızlık ilkesine sadık kalmaları teşvik edilmeli. Haberlerin doğruluk ve güvenilirlik ön planda tutulmalı.
Sahte içerikler, botlar ve sponsorlu içeriklerin yaygınlığı	Sosyal medya platformlarının sahte içerikleri ve botları tespit etmek için daha iyi algoritmalar geliştirmesi, içeriğin doğruluğunu denetlemesi

Kaynak: [18]

E. Politika ve Çözüm Önerileri

Dijital hizmetlerin hızla artan popülaritesi, ilişkili etik endişeleri belirlemek ve ele almak için sağlam çerçeveler gerektirmektedir. Etik değerlendirme çerçeveleri, veri kötüye kullanımı, siber güvenlik, şeffaflık, eşitsizlik ve sürdürülebilirlik gibi endişeleri değerlendirmek için ölçeklenebilir ve uyarlanabilir bir araç sunar. Örneğin, Andreasyan ve diğerleri (2025) tarafından kamu hizmetlerinde etik endişeleri değerlendirmek için yapılandırılmış bir çerçeve sunulmuştur. Bu çerçeve, veri gizliliği, şeffaflık ve kapsayıcılık gibi temel etik zorlukları ele alarak karmaşık dijital hizmetlerin analizinde faydalı olduğunu göstermektedir. Teknolojik inovasyon ile etik hesap verebilirliği dengelemek önemlidir ve kamu dijital hizmetlerinde şeffaflık ve güveni sağlamaya pratik bir yaklaşım sunmaktadır [1].

Dijital etiğin bireysel ve toplumsal etkilerini güçlendirmek için aşağıdaki öneriler dikkate alınmalıdır:

Eğitim ve Farkındalık: Bireylerin dijital haklar ve veri gizliliği konusunda bilinçlendirilmesi için eğitim programları geliştirilmelidir. Okullarda ve iş yerlerinde dijital etik üzerine müfredatlar oluşturulmalıdır [19].

Gizlilik ve Güvenlik: Kullanıcıların veri gizliliğini korumak için şeffaf veri yönetimi politikaları ve güçlü güvenlik önlemleri uygulanmalıdır

Kapsayıcı Teknoloji Geliştirme: Yapay zeka algoritmalarında önyargıyı azaltmak için çeşitli veri setleri kullanılmalı ve düzenli etik denetimler yapılmalıdır [20].

Sürdürülebilirlik Odaklı Tasarım: Teknoloji geliştiricileri, çevresel etkileri en aza indiren sürdürülebilir tasarım ilkelerini benimsemelidir.

Etik Çerçeveler ve Çözüm Önerileri: Dijital etiğin bireysel ve toplumsal etkilerini yönetmek için sağlam etik çerçeveler geliştirilmesi kritik öneme sahiptir. Kantha ve arkadaşları (2024), şeffaflık, hesap verebilirlik ve kapsayıcılık gibi prensiplerin teknolojik gelişimde rehber olması gerektiğini savunur. Örneğin, Avrupa Birliği'nin Genel Veri Koruma Tüzüğü (GDPR), veri toplama ve işleme süreçlerinde kullanıcı rızasını ve şeffaflığı zorunlu kılarak etik standartları yükseltmiştir [12]. Pyrrho (2024), veri setleri için "veri sayfaları" (datasheets) gibi araçların kullanımını önerir. Bu sayfalar, veri setlerinin bileşimi, toplama süreci ve kullanım amacı hakkında bilgi sağlayarak etik veri kökenini belgeleyebilir. Ayrıca, bilimsel ve toplumsal değerleri yansıtan veri tabanlarının oluşturulması, algoritmik önyargıları azaltabilir ve adil sonuçlar elde edilmesini destekleyebilir. Etik, teknolojinin yalnızca bireylerin haklarını korumakla kalmayıp, aynı zamanda toplumsal refahı artırarak ortak iyiliği teşvik etmesi gerekmektedir. Bu, teknoloji geliştiricileri, politika yapımcılar ve toplumun diğer paydaşları arasında sürekli bir diyalog ve iş birliği gerektirir. Merck'in geliştirdiği "Dijital Etik Kodu" (CoDE), dijital etiğin bireysel ve toplumsal sonuçlarını ele almak için beş temel ilkeye dayanır [13]:

- Özerklik,
- Zarar vermeme,
- İyilik yapma,
- Adalet
- Şeffaflık.

Bu ilkeler, 15 alt ilkeyle desteklenir ve veri ile algoritmik sistemler için etik karar alma süreçlerini yönlendirmeyi amaçlar. Önerilen çözümler şunları içerir:

Şeffaflık ve Açıklanabilirlik: Algoritmaların nasıl çalıştığını kullanıcılara açıklamak hem bireysel özerkliği hem de toplumsal güveni artırır.

Veri Sayfaları (Datasheets): Veri setlerinin bileşimi ve kullanım amacı hakkında şeffaf bilgi sağlamak, etik veri kullanımını destekler.

Çok Paydaşlı İş Birliği: Teknoloji geliştiricileri, politika yapımcılar ve toplum arasında diyalog, etik standartların uygulanmasını güçlendirir.

Evrensel ve Esnek İlkeler: CoDE, farklı iş bağlamlarına uyarlanabilen, katı normatif ifadelerden kaçınan bir yapı sunar.

III. SONUÇLAR

Son beş yılda dijital etik hem bireysel hem de toplumsal düzeyde önemli etkiler yaratmıştır. Bireyler, kişisel veri güvenliği ve dijital okuryazarlık gibi konularda daha bilinçli hale gelirken, toplumlar dijital eşitsizlikler ve yapay zekâ kaynaklı etik sorunlarla karşı karşıya kalmıştır. Bu bağlamda, dijital etiğin birey ve toplum üzerindeki etkilerini anlamak, daha adil ve etik bir dijital dünya oluşturmak için kritik öneme sahiptir. Gelecekte, dijital teknolojilerin geliştirilmesinde etik ilkelerin önceliklendirilmesi, bu etkilerin olumlu yönde şekillenmesine katkı sağlayacaktır.

Dijital çağ, beraberinde getirdiği dönüşümlerle birlikte etik alanında da yeni ve karmaşık sorunları ortaya çıkarmıştır. Dijitalleşmenin iş etiği, gazetecilik etiği, yapay zekâ ve çalışma hayatı ile gibi farklı alanlarda yarattığı etik zorlukları ve dönüşümleri kapsamlı bir şekilde ele almıştır [1, 17, 6, 2, 9]. Verinin kötüye kullanımı, siber güvenlik riskleri, şeffaflık eksikliği, algoritmik ayrımcılık ve yapay zekânın kötüye kullanımı gibi konular, dijital etik tartışmalarının merkezinde yer almaktadır.

Dijital etiğin bireysel ve toplumsal etkileri, mahremiyetin dönüşümü, veri gizliliği endişeleri, yeni medyada reklam etiği sorunları ve yapay zekânın getirdiği yeni ikilemlerle kendini göstermektedir. Dijitalleşmenin getirdiği faydalar yadsınamaz olsa da bu gelişmelerin etik boyutları göz ardı edilmemelidir. Toplumun ve bireylerin dijital okuryazarlığının artırılması, kişisel verilerin korunması bilincinin geliştirilmesi ve etik ilkelere dayalı dijital politikaların oluşturulması büyük önem taşımaktadır. Gelecekteki araştırmalar, dijital etik alanındaki bu sorunların daha derinlemesine incelenmesine odaklanmalıdır. Yasal düzenlemelerin güncellenmesi, uluslararası iş birliği ve eğitim programlarının geliştirilmesi, dijital etik ilkelerinin yaygınlaştırılması ve uygulanması için elzemdir. Bireylerin ve kurumların dijital sorumluluklarının farkında olması ve bu sorumlulukları yerine getirmesi, daha etik ve sürdürülebilir bir dijital gelecek inşa etmenin temelini oluşturacaktır.

Dijital etik, bireylerin mahremiyet ve özerklik haklarını korurken, toplumsal eşitlik ve adaleti sağlama sorumluluğunu taşır. Kantha ve diğerleri (2024) ile Pyrrho (2024) tarafından sunulan analizler, dijital teknolojilerin hem bireysel hem de toplumsal düzeyde karmaşık etik sorunlar yarattığını ortaya koyar [12-13]. Mahremiyet ihlalleri, algoritmik önyargılar ve dijital uçurum gibi sorunlar, etik çerçevelerin ve politikaların acilen geliştirilmesini gerektirir. Şeffaflık, hesap verebilirlik ve adalet odaklı yaklaşımlar benimsenerek, dijital çağın sunduğu fırsatlar herkes için erişilebilir hale getirilebilir ve teknolojinin insanlık için bir nimet olması sağlanabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Andreasyan, N., Buson, D., Mancera, J., Portmann, E., & Terán, L. (2025). Evaluation of Public Services Through the Lens of Digital Ethics. Dg.02025-26th Annual International Conference on Digital Government Research, 1-16.
- [2] Tepe, S. (2024). Dijital Çağda Önleme: Güvenli ve Sağlıklı Çalışma Hayatı için Çözümler. EJONS International Journal on Mathematics, Engineering and Natural Sciences, 8(4), 480-492.
- [3] Türkiye İstatistik Kurumu. (2024). Hanehalkı bilişim teknolojileri (BT) kullanım araştırması, 2024 [Bülten]. [https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Hanehalki-Bilisim-Teknolojileri-\(BT\)-Kullanim-Arastirmasi-2024-53492](https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Hanehalki-Bilisim-Teknolojileri-(BT)-Kullanim-Arastirmasi-2024-53492)
- [4] Kalan, Ö. (2016). Yeni medyada reklam ve etik sorunlar. Karabük Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 1(1), 1-15.
- [5] Akman, K., & Övgün, B. (2022). Devletin gölgesinde dijitalleşmenin dönüştürdüğü mahremiyet. Ankara Üniversitesi SBF Dergisi, 75(2), 775-803.
- [6] Rosha, A. (2021). Exploring the role of ethical issues in the context of digital transformation. Trends Economics and Management, 15(38):23-33
- [7] Kuh, Z., & Dinçer Gültekin, D. (2025). Dijital etik ile ilgili çalışmaların VOSviewer programı ile bibliyometrik analizi. Uluslararası Ekonomi ve Yenilik Dergisi, 11(1), 223-242.
- [8] Kutsenko, N. V. (2024). Философский Аспект Цифровой Этики. [Felsefi Boyutta Dijital Etik]. Одесса: Национальный университет «Одесская юридическая академия»
- [9] Tufan, B. N. (2024). Yapay Zekâ Ve Suç: Gelecek Açısından Hukuksal Ve Etik Tehditler. Medeniyet Kültürel Araştırmalar Belleteni, İMÜ Edebiyat Fakültesi Dergisi, 4(7), 1-17.
- [10] Akça, G., & Başer, D. (2011). Gelişen teknolojinin gizlilik ve mahremiyet üzerindeki etkileri. Muğla Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, (26), 9-22.
- [11] Öztürk, Ö. (2022). Yapay zekâ ve kişisel veriler. Hukuk ve Bilim Dergisi. <https://www.hukukvebilisimdergisi.com/yapay-zeka-ve-kisisel-veriler/> Erişim Tarihi: 01.01.2025.
- [12] Kantha, T., Sahoo, D., Rout, D., & Mishra, S. J. (2024). Ethics in the Digital Era: Technology's Role in Shaping Society. Shanlax International Journal of Arts Science and Humanities 11(1):8-18
- [13] Pyrrho, M. (2024). Digital Ethics Beyond Informational Flow. Digital Society, 3(1), 9.
- [14] Öztürk, Ö., & Çelik, B. (2023). Hukuk ve yapay zeka: Dijital devrimle gelen yeni düzen. Hukuk ve Biliim Dergisi. <https://www.hukukvebilisimdergisi.com/hukuk-ve-yapay-zeka-dijital-devrimle-gelen-yeni-duzen/> Erişim Tarihi: 01.01.2025
- [15] Yıldız, M., & Yıldırım, B. F. (2018). Yapay zekâ ve robotik sistemlerin kütüphanecilik mesleğine olan etkileri. Türk Kütüphaneciliği, 32(1), 26-32.
- [16] Abdurakhmanov, D. B. (2024). Күлтүрөл Динамикләрдә Дижитал Этиканың Информацион Жәмгыятьтә Тамырлары. [Kültürel Dinamiklerde Dijital Etiğin Bilgi Toplumunda Temelleri]. Тула: Тульский государственный педагогический университет им. Л. Н. Толстого
- [17] Arslan, M., & Eren, S. (2024). Geleneksel Basından Dijitale Geçiş Sürecinde Gazetecilik Etik İlkelerinin Değişim ve Dönüşümü: New York Times Örneği. İbn Haldun Çalışmaları Dergisi, 9(1), 37-57.
- [18] Soydan, B. (2023). Yeni medya ve sosyal medya: Etik sorunlar ve çözüm yaklaşımları. Yeni Medya Elektronik Dergisi, 7(3), 198-215.
- [19] Luke, A. (2018). Digital Ethics Now. Language and Literacy, 20(3), 185-198.

Duygusal Emek ve İş Hayatında Önemi

Cennet Kübra COŞKUN^{1*} ve Serap KALFAOĞLU²

¹YL Öğr., İKY ABD/Sosyal Bilimler Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya/Türkiye

²Doç. Dr., İşletme Bölümü/İİBF, Selçuk Üniversitesi, Konya/Türkiye

*(coskuncubra@gmail.com)

Özet – Çalışma yaşamında üretim ve istihdam yapılarında meydana gelen dönüşümler, emeğin yalnızca fiziksel ya da zihinsel değil, aynı zamanda duygusal yönleriyle de ele alınmasını gerekli kılmıştır. Bu bağlamda öne çıkan kavramlardan biri de, özellikle hizmet sektörünün gelişimiyle birlikte önem kazanan duygusal emek olmuştur. Duygusal emek, çalışanların duygularını işin gerektirdiği şekilde yönetmelerini ve sergilemelerini ifade ederken, işverenler tarafından da bu yönde açık ya da örtük beklentiler oluşturulmaktadır. Kavramı ilk kez “duyguların ticarileşmesi” bağlamında ele alan Hochschild (1983), bu tür emeğin özellikle kadın istihdamının yoğun olduğu alanlarda toplumsal cinsiyetle de yakından ilişkili olduğunu vurgulamıştır. Daha sonra “duygulanımsal emek” kavramıyla genişleyen bu tartışmalar, emeğin görünmeyen yönlerini anlamak açısından önemli bir kuramsal zemin sunmaktadır. Bu çalışmada duygusal emek kavramının tanımı, biçimleri, boyutları, iş hayatındaki yeri ve önemi konularına yer verilmiş olup, bazı meslek grupları özelinde yapılan araştırma sonuçları sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler – Duygusal Emek, Hizmet Sektörü, Çalışan Deneyimi, İş Hayatı, Duygusal Emek Konulu Ulusal Çalışmalar.

I. GİRİŞ

Bireyler, yaşamlarının hem iş hem de özel alanlarında çeşitli duygular deneyimlemektedir. Duygular, insan davranışının ayrılmaz bir parçası olup bireyin içsel süreçlerinden sosyal ilişkilerine kadar pek çok boyutta belirleyici bir rol üstlenmektedir. İnsanın tarihsel gelişimi boyunca hayatta kalmasında duyguların önemli bir işlev gördüğü açıktır. Ancak duyguların bu merkezi konumuna rağmen, uzun süre çalışma yaşamı bağlamında yeterince dikkate alınmadığı görülmektedir. Özellikle klasik yönetim anlayışının temsilcisi olan Taylor’un bilimsel yönetim modeli, insanı yalnızca verimliliği artırılması gereken bir üretim unsuru olarak değerlendirmiş, bireyin duygusal yönünü büyük ölçüde göz ardı etmiştir.

Zamanla örgütsel psikoloji alanındaki gelişmelerle birlikte, işyerinde duyguların önemi daha fazla kabul görmeye başlamıştır. Bu gelişim, özellikle hizmet sektörünün büyümesiyle paralel bir şekilde ilerlemiştir. Hizmet sektöründe çalışanlar ve hizmet alan bireylerin duygusal süreçleri, yönetsel kararların merkezine alınmaya başlamış ve duygular, örgütsel yaşamın vazgeçilmez bir bileşeni olarak değerlendirilmiştir. Duyguların birey davranışı üzerindeki etkileri düşünüldüğünde, örgütsel davranışların sağlıklı biçimde anlaşılması için bu unsurun göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Çalışma yaşamının duygulardan tamamen ayrıştırılması mümkün değildir, zira örgütleri oluşturan bireyler aynı zamanda sosyal ve psikolojik varlıklardır. Bu durum, özellikle insan faktörünün yoğun biçimde hissedildiği meslek gruplarında daha da belirgin hale gelmektedir. Eğitim kurumları gibi insan ilişkilerinin yoğun olduğu ortamlarda, çalışanlardan duygularını denetlemeleri ve örgüt hedeflerine uygun biçimde yönlendirmeleri beklenmektedir.

II. DUYGUSAL EMEK KAVRAMI

Geçmişte örgütsel davranış literatüründe duyguların önemi büyük ölçüde göz ardı edilmiş ve işyeri, rasyonel süreçlerin hâkim olduğu, duygulardan bağımsız bir ortam olarak değerlendirilmiştir. Bu yaklaşım doğrultusunda, iş ortamında yaşanan duygular açıklanmaya ya da analiz edilmeye değer görülmemiştir. Ancak zamanla bu anlayış değişmeye başlamış ve araştırmacılar iş yaşamındaki duygusal süreçlerin, hem bireysel hem de örgütsel düzeyde önemli çıktılar doğurduğunu fark etmiştir. Bu bağlamda çalışmalar, çalışanların duygularını nasıl yönettikleri, bu sürecin iş tatmini, tükenmişlik ve performans gibi değişkenler üzerindeki etkileri üzerine yoğunlaşmıştır. Duygular artık yalnızca bireysel deneyimler olarak değil, örgütsel yapılar ve ilişkiler içinde şekillenen ve yönlendirilen önemli bir etken olarak ele alınmaktadır.

A. Tanım

Duygusal emek, bireylerin işlerinin bir gereği olarak duygularını kontrol etmesi ve bu doğrultuda yönlendirmesi sürecini ifade etmektedir. Bu kavramın, özellikle müşteri memnuniyetini artırma yoluyla örgütsel çıkarları olumlu yönde etkilediği literatürde vurgulanmaktadır. Hizmet sektöründe görev yapan çalışanların işlerinde başarılı olabilmeleri, yalnızca fiziksel ve zihinsel çaba göstermelerine değil, aynı zamanda duygusal düzeyde de emek sarf etmelerine bağlıdır. Hochschild (1983) duygusal emeği, çalışanların, iş gereği duygularını dışarıdan gözlemlenebilecek biçimde düzenlemesi ve bu düzenlemeyi yüz ifadeleri ile beden dili aracılığıyla sergilemesi olarak tanımlamıştır [1]. Hochschild (1983)'in bu yaklaşımına ek olarak, daha sonraki araştırmacılar duygusal emeğin yalnızca bedensel göstergelerle sınırlı olmadığını, aynı zamanda konuşma sırasında kullanılan ses tonu ve genel davranışsal tutumları da kapsadığını ileri sürmüşlerdir. Bu çerçevede duygusal emek, başkalarının duygularına duyarlılık gösterme, onların hislerine önem verme ve empati kurma çabası olarak da değerlendirilmektedir. Bu yaklaşım, duyguların düzenlenmesinde duygusal emeğin temel bir unsur olduğunu ortaya koymaktadır.

B. Biçim ve Boyutları

Literatürde duygusal emek genellikle yüzeysel ve derin davranış/eylem biçimleriyle tanımlanmaktadır. Bu iki kavram, duygusal emek çalışmalarında yaygın olarak kabul görmüş temel kategorilerdir. Ancak bazı araştırmacılar, bu iki davranış biçimine ek olarak duygusal emeğin bir diğer türü olarak samimi davranışın da varlığını vurgulamaktadırlar.

Hochschild'e (1983) göre, çalışanların duygusal emek kapsamında sergiledikleri eylemler iki ana gruba ayrılır: yüzeysel eylem ve derin eylem. Yüzeysel eylemde, çalışan gerçekte hissetmediği duyguları dışa vurur ve bu duyguları taklit ederken, derin eylemde ise sergilediği duyguyu içselleştirip gerçekten hissetmeye çalışır; bu durum bir aktörün rolüne bürünmesine benzetilmektedir [1].

Yüzeysel davranış (surface acting), çalışanın içsel duygularını değiştirmeksizin, sadece dışa yansıttığı duygu ifadelerini değiştirmesi anlamına gelir. Bu davranış, hiç var olmayan bir duygunun taklit edilmesi veya gerçek duyguların gizlenmesi şeklinde ortaya çıkabilir. Çalışanlar, bu süreçte samimi duygularını bastırarak, örgütlerin belirlediği duygusal davranış kurallarına uygun hareket ederler. Hizmet sektöründeki çalışanların müşteri memnuniyetini sağlamak amacıyla sergiledikleri sahte gülümsemeler buna tipik bir örnektir [2]. Yüzeysel davranış biçimi, çalışanlarda yoğun duygusal çelişki yarattığı için literatürde duygusal çelişki terimiyle de tanımlanmaktadır.

Derin davranış (deep acting), çalışanın sergilemesi gereken duygularla kendi içsel duygularını uyumlu hale getirmek için gösterdiği aktif çabayı ifade eder. Bu tür davranışta, birey iç dünyasındaki duyguları, işin gerektirdiği duygu durumlarına adapte etmeye çalışır [2]. Bazı araştırmacılar, derin davranış duygusal emeğin temel bileşeni olarak görürler çünkü çalışan, karşısındakinin duygularını anlamak, empati kurmak ve olumsuz koşullara rağmen olumlu bir tutum sergilemek için önemli bir çaba harcamaktadır [3]. Bu süreçte çalışan, düşünceler, hayaller ve geçmiş deneyimler aracılığıyla istenen duyguları uyandırmaya çalışır.

Yüzeysel davranış, çalışanların dışa vurdukları duygusal ifadeleri değiştirmesiyle ortaya çıkar. Derin davranış ise, çalışanın kendisinden beklenen duygusal davranış kurallarına uyum sağlamak için içsel düşünce ve duygularını yönetmesini içerir [2].

Derin davranışı benimseyen çalışanlar, içsel duygularını kontrol etme ve gerektiğinde farklı duygular yaratma konusunda daha başarılıdırlar. Ancak hem yüzeysel hem de derin davranış biçimlerinde, çalışanların gerçek duygularını yansıtmadığı görülmektedir. Her iki durumda da, samimi ve doğal hislerden ziyade, müşterilerin beklentilerine uygun duygular sergilenmeye çalışılır. Yüzeysel davranışta, çalışan sadece hissetmeden duyguyu taklit ederken; derin davranışta, yansıttığı duyguları gerçekten hissetmeye çabalar. Bu açıdan yüzeysel davranış, dışarıdan zorlanan bir mecburiyet olarak algılanırken; derin davranış, içsel motivasyonla desteklenen bir gereklilik olarak değerlendirilir [3].

Buna ek olarak, Ashforth ve Humphrey (1993) yüzeysel ve derin davranışların yanı sıra samimi davranış kavramını da ortaya koymuşlardır. Bu davranış biçiminde çalışan, göstermesi gereken duyguyu gerçekten hissedebilmektedir. Ancak tüm bu davranış biçimleri, ister yüzeysel ister derin ister samimi olsun, çalışanlardan belli bir düzeyde çaba sarf etmelerini gerektirir ve temel amaç, örgütün belirlediği duygusal davranış normlarına uygun hareket etmektir [4].

Çalışanlar duygusal emek sürecinde, yüzeysel veya derin davranış biçimlerine uygun olarak farklı stratejiler geliştirebilmektedirler [5]. Bu stratejilerden biri, ilgiyi yayma yöntemidir. Bu yaklaşımda çalışan, kendisini iyi hissettiren düşüncelere odaklanır veya hoşlandığı aktivitelerle meşgul olur; örneğin, servis yapan bir garsonun çalışırken kendi kendine şarkı mırıldanması gibi. Böylece kişi rahatlar ve müşterilere karşı daha olumlu duygular sergileyebilir. Bir diğer strateji ise, mevcut durumu farklı bir bakış açısıyla değerlendirmeye dayanan anlayış değiştirme yöntemidir. Örneğin, uçuş personelinin zorlu yolcuları birer çocuk gibi görerek sabırla yaklaşması, onların taleplerini ve davranışlarını daha hoşgörülü karşılamasını sağlar. Bunun aksine, üçüncü bir yöntem olarak çalışanlar, içinde bulundukları durumu yeniden şekillendirmek yerine duygularını maskeleyerek sadece rol yapmayı tercih edebilirler. Bu duygusal karşılığı değiştirme ya da yüzeysel davranış olarak adlandırılır. Bu yöntemde çalışanın sergilediği davranışların inandırıcı olması kritik öneme sahiptir; aksi takdirde samimiyetsizliği fark edilen tutumlar, müşteri üzerinde olumsuz etki yaratabilir. Genel olarak, ilk iki yöntem derin davranış kapsamına girerken, üçüncü yöntem yüzeysel davranış olarak kabul edilmektedir.

Duygusal emek kavramının kapsamlı şekilde anlaşılabilmesi için, sadece davranış biçimleri değil, aynı zamanda duygusal emeğin çeşitli boyutlarının da tanımlanması önemlidir. Temelde duygusal emek; *gösterim sıklığı, harcanan dikkat düzeyi, duyguların çeşitliliği ve duygusal uyumsuzluk* olmak üzere dört temel boyuttan oluşmaktadır.

Gösterim sıklığı, çalışanların iş ortamında talep edilen duyguları ne sıklıkla sergilemek zorunda olduklarını ifade eder. Bu sıklık arttıkça, çalışan üzerindeki duygusal emek yükü de artmaktadır. Örneğin, bir resepsiyonistin saatte bir müşteriyle etkileşimde bulunması gerekirken, bir kasiyerin bu sayı saatte on kişiye çıkabilmektedir.

Sarf edilen dikkat, duygusal emeğin ikinci boyutunu oluşturur ve çalışanın işin gerektirdiği duygusal kuralları uygularken gösterdiği dikkat seviyesini ifade eder. Bu dikkat, duyguların sergilendiği sürenin uzunluğu ve duygu yoğunluğuyla doğrudan ilişkilidir. Kısa süreli ve önceden belirlenmiş (senaryolaştırılmış) duygu gösterimleri genellikle daha az çaba gerektirir; örneğin, kasiyerlerin müşterilere karşı kısa süreli ve nazik davranışları çoğu durumda yeterli olmaktadır. Ancak, daha uzun süren ve doğaçlamaya dayalı duygu ifadeleri örneğin hemşirelerin hastalarla kurdukları duygusal iletişim daha yoğun ve içten bir duygu kontrolü gerektirebilir.

Duyguların çeşitliliği, çalışanların aynı anda veya kısa süre içinde birden fazla farklı duyguyu sergilemek zorunda olmalarını ifade eder. Böyle durumlarda çalışanlar, davranışlarını daha detaylı planlamak ve kontrol etmek zorunda kalır. Bu da onların daha fazla duygusal çaba harcamasına ve dolayısıyla duygusal emeğin artmasına yol açar.

Sergilenen duygular genellikle üç ana kategoriye ayrılır: pozitif (bütünleştirici), negatif (farklılaştırıcı) ve nötr (maskeleyici) duygular. Pozitif duygular, çalışanların karşı tarafa olumlu ve sıcak davranışlar göstermesini ifade ederken; negatif duygular, bazen karşıdaki kişiyi kızdırmak ya da yatıştırmak amacıyla sert veya mesafeli tutum sergilemeyi kapsar. Nötr duygular ise tarafsızlığı ve otoriteyi yansıtmayı amaçlar. Gösterilmesi gereken duygular, meslek türüne ve hatta aynı meslek içinde farklı durumlara göre değişiklik gösterebilir. Örneğin, satış elemanlarından genellikle müşterilere karşı pozitif duygular beklenirken, borç tahsildarlarından negatif, hakimlerden ise nötr duyguların sergilenmesi istenir. Ayrıca,

aynı satış elemanının müşteri yoğunluğunun az olduğu zamanlarda birebir ilgi göstermesi beklenirken, yoğun dönemlerde veya kapanış saatine yaklaşıldığında müşterilerle iletişim süresini kısaltması da olağan karşılanabilir.

Duygusal uyumsuzluk (emotional dissonance), çalışanın gerçekte hissettiği duygular ile iş yerinde sergilemesi gereken duygular arasındaki çatışmayı ifade eder. Birçok araştırmacı bu durumu, duygusal emeğin kaçınılmaz bir sonucu olarak değerlendirirken, bazıları da duygusal emeğin temel boyutlarından biri olarak kabul etmektedir. Çatışmanın şiddeti arttıkça, çalışanların harcadığı duygusal emek miktarı da artmaktadır. Örneğin, sattığı ürünü gereksiz bulan bir satış elemanı, ürüne inanarak çalışana göre çok daha fazla duygusal çaba sarf etmek zorunda kalabilir.

Duygusal emek kavramı, çalışanların sadece içsel duygularını yönetmelerini değil, aynı zamanda bu duygulara uygun olarak davranışlarını, jest ve mimik gibi bedensel ifadelerini de bilinçli bir şekilde kontrol etmelerini gerektirir. Bu durum, çalışanların bedensel denetimini zorunlu kılarak, duygusal emeğin bedensel boyutunu ön plana çıkarır. Dolayısıyla, duygusal emek sadece zihinsel veya duygusal bir süreç olmayıp, beden ve dış görünüşün iş sürecindeki rolünü de kapsamaktadır. Bu yönüyle, duygusal emek kavramı, bedenin çalışma yaşamındaki yerine odaklanan ve bedenin performans, görünüm ve ifadeleri üzerindeki kontrolü inceleyen diğer kavramlarla da yakından ilişkilidir. Böylece, işyerinde emek sadece zihinsel ve duygusal olarak değil, aynı zamanda bedensel olarak da denetlenmekte ve şekillendirilmektedir.

C. Duygusal Emeğin İş Hayatındaki Yeri ve Önemi

Geleneksel örgütsel yapıların uzun süre duyguları göz ardı ettiği ve iş yerini yalnızca rasyonel bir alan olarak ele aldığı bilinmektedir. Ancak son yıllarda duyguların, özellikle de duygusal emeğin, iş yaşamında önemli bir unsur olduğu kabul edilmeye başlanmıştır [6]. Hochschild'in (1983) ortaya koyduğu duygusal emek kavramı, Türkiye'deki akademik çalışmalarda da artan bir ilgiyle ele alınmakta, özellikle hizmet sektöründe çalışan bireyler üzerinde yoğunlaşmaktadır.

Duygusal emek, çalışanın kurumsal beklentilere uygun şekilde duygu sergileme zorunluluğunu ifade eder. Bu çaba, çalışanın gerçek duygularını bastırarak ya da dönüştürerek, müşteri, hasta veya öğrenci gibi hizmet alan kişilere olumlu duygular yansıtmasını gerektirir [7]. Türkiye'de yapılan araştırmalarda özellikle hemşireler [8] ve çağrı merkezi çalışanları [9] gibi meslek gruplarının yoğun duygusal emek yükü altında olduğu vurgulanmaktadır.

Duygusal emeğin iş yaşamındaki önemi, yalnızca hizmet kalitesine etkisiyle sınırlı kalmaz. Aynı zamanda çalışanların tükenmişlik düzeyi, iş doyumu, örgütsel bağlılık ve psikolojik iyi oluş gibi çıktılar üzerinde de önemli etkiler yaratmaktadır [10]. Araştırmalar, yüzeysel duygusal emeğin (surface acting) çalışanlarda stres ve tükenmişliği artırdığını; içten gelen (deep acting) duygusal emeğin ise daha olumlu sonuçlar doğurduğunu göstermektedir [11].

D. Türkiye'de Duygusal Emek Çalışmaları

Türkiye'de duygusal emek alanında yapılan çalışmaların incelenmesi, hem ülkenin hızla dönüşen hizmet sektörü yapısı hem de kültürel-toplumsal dinamikleri göz önünde bulundurulduğunda önemli bir gereklilik haline gelmiştir. Son yıllarda özellikle sağlık, eğitim, turizm, bankacılık ve çağrı merkezi gibi insan ilişkilerinin yoğun olduğu sektörlerde çalışan bireyler, yalnızca fiziksel değil aynı zamanda duygusal bir emek de harcamaktadır. Çalışanların kendi duygularını bastırarak ya da dönüştürerek, kurumsal beklentilere ve müşteri memnuniyetine uygun davranma zorunluluğu, onların psikolojik sağlamlığını, iş doyumunu, örgütsel bağlılığını ve genel yaşam kalitesini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle, duygusal emeğin bireysel ve örgütsel düzeydeki etkilerini ortaya koymak, Türkiye özelinde bilimsel ve pratik anlamda büyük önem taşımaktadır.

Ayrıca, Türkiye'deki toplumsal cinsiyet rolleri ve ataerkil değerler sistemi, kadın çalışanların duygusal emek yükünü daha fazla üstlenmesine neden olmakta, bu durum da cinsiyete dayalı iş bölümü, ücret eşitsizliği ve kariyer engelleri gibi sorunlarla birleşerek derin toplumsal sonuçlar doğurmaktadır. Aynı şekilde, otoriter yönetim anlayışı ve hiyerarşik örgüt yapıları, çalışanların duygusal ifadelerini baskılayan ve yalnızca yüzeysel davranışları teşvik eden bir iş ortamı yaratabilmektedir. Bu durum, özellikle kamu kurumlarında ve özel sektörün belirli alanlarında daha belirgin hale gelmektedir.

Dolayısıyla, Türkiye’ye özgü sosyoekonomik ve kültürel koşullar çerçevesinde yapılan akademik çalışmalar, duygusal emeğin yapısını ve etkilerini anlamak açısından yalnızca teorik katkı sunmakla kalmamakta; aynı zamanda işverenler, yöneticiler ve insan kaynakları profesyonelleri için çalışan refahını önceleyen politikaların geliştirilmesine yönelik yol gösterici bir işlev üstlenmektedir. Bu bağlamda yerli literatürün güçlendirilmesi, hem çalışan haklarının korunması hem de iş yerinde sürdürülebilir verimliliğin sağlanması açısından kritik bir rol oynamaktadır.

Türkiye’de duygusal emek alanında gerçekleştirilen araştırmalar, farklı meslek gruplarında duygusal emeğin çeşitlilik gösteren biçimlerde ortaya çıktığını ve mesleki özelliklerin duygusal emek deneyimini etkilediğini göstermektedir. Bankacılık sektöründe yapılan çalışmalar, çalışanların müşteri ilişkilerinde sergiledikleri duygusal emek davranışlarının, işlerine olan bağlılık ve tutkunluk üzerinde belirgin bir etkisi olduğunu ortaya koymaktadır. Ancak, bazı durumlarda bu bağlılığın, duygusal emeğin yüküyle ters orantılı olarak azaldığı gözlemlenmiştir.

Sağlık sektöründe, özellikle hekim ve hemşireler üzerinde yapılan araştırmalar, duygusal emeğin yoğunluğunun çalışanlarda tükenmişlik ve duygusal çelişkiye yol açtığını ortaya koymaktadır. Uzun süreli ve yoğun duygusal çaba gerektiren sağlık mesleklerinde çalışanlar, hastalar ve hasta yakınlarıyla kurdukları etkileşimlerde yüksek düzeyde duygusal kontrol sergilemek zorunda kalmaktadırlar. Bu durum, psikolojik stres ve mesleki tükenmişlik riskini artırmaktadır.

Çağrı merkezi çalışanları ise, sıklıkla yüzeysel davranışlar sergilemek durumunda kaldıkları için duygusal uyumsuzluk ve iş tatminsizliği yaşamaktadırlar. Ancak, duygusal emeğin farklı boyutlarının, çalışanların iş memnuniyeti ve iyi olma hali üzerinde anlamlı etkileri olduğu da belirlenmiştir.

Kamu sektöründe çalışan beyaz yakalılar üzerinde yapılan incelemeler, yüzeysel duygusal emek davranışlarının iş stresiyle pozitif yönde ilişkili olduğunu göstermiştir. Bu da, duygusal emeğin iş yerinde stres kaynaklarından biri olarak ortaya çıktığını desteklemektedir.

Son olarak, psikolojik sermaye yüksek olan çalışanların, doğal ve samimi duygusal ifadeler sergileme eğiliminde oldukları ve bu sayede duygusal emek yükünün bir miktar azaldığı gözlemlenmiştir. Bu durum, bireysel psikolojik kaynakların duygusal emek üzerindeki düzenleyici etkisini vurgulamaktadır.

Genel olarak, Türkiye’deki meslek gruplarına yönelik çalışmalar, duygusal emeğin mesleklerin yapısı, çalışma koşulları ve bireysel faktörler doğrultusunda farklı şekillerde yaşandığını ve bunun çalışanların psikolojik ve iş performansı üzerinde önemli etkiler oluşturduğunu göstermektedir.

E. Bazı Meslek Gruplarında Duygusal Emek

Bankacılık sektörü özelinde; Örucü, Gizlier ve Akın (2021) tarafından yapılan bir araştırmada, Balıkesir’in Bandırma ilçesinde kamu ve özel sektörde çalışan 110 banka çalışanı incelenmiştir. Çalışma, duygusal emeğin bankacılık sektöründe önemli bir yer tuttuğunu ve çalışanların duygusal emek davranışlarının işe tutkunlukları üzerinde etkili olduğunu göstermektedir. Ancak, duygusal emeğin işe adanma ve işe istek duyma gibi boyutları arasında negatif ilişkiler bulunmuştur [12].

Sağlık sektörü özelinde; Kaplan ve Acar (2020) tarafından yapılan bir nitel araştırmada, hekimlerin duygusal emek davranışları ve tükenmişlik arasındaki ilişki incelenmiştir. Araştırma, hekimlerin mesleki deneyimlerinin artmasıyla birlikte, hasta ve hasta yakınlarına karşı duyarsızlaştıklarını ve duygusal çelişki yaşadıklarında tükenmişlik düzeylerinin arttığını ortaya koymaktadır [13].

Kılıç ve Demirel (2019) tarafından yapılan bir başka çalışmada, Elazığ ilindeki kamu hastanelerinde çalışan 469 sağlık çalışanı üzerinde duygusal zekâ, duygusal emek ve mesleki stres arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Sonuçlar, duygusal zekânın mesleki stres üzerindeki etkilerini duygusal emeğin aracılık ettiğini ve bu etkinin kısmi düzeyde kaldığını göstermektedir [14].

Çağrı Merkezi Çalışanları özelinde; Özkan (2011) tarafından yapılan bir araştırmada, çağrı merkezi çalışanlarının duygusal emek süreçleri ve örgütsel iletişim doyumu arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Araştırma, çağrı merkezi çalışanlarının duygusal emek yoğunluğunun yüksek olduğunu ve duygusal uyumsuzluğun yüksek, duygusal emeğe bağlı iş doyumunun ise düşük olduğunu ortaya koymaktadır [15].

Güneş Aydemir (2018) tarafından yapılan bir başka çalışmada, çağrı merkezi çalışanlarının duygusal emek boyutlarının iş memnuniyeti ve iyi olma hali üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sonuçlar, duygusal

emek boyutlarının iş memnuniyeti ve iyi olma hali üzerinde anlamlı etkilerinin olduğunu göstermektedir [16].

Kamu çalışanları özelinde; Yıldız ve Koçoğlu Sazkaya (2021) tarafından yapılan bir araştırmada, İstanbul'daki bir ilçe belediyesinde çalışan 347 beyaz yakalı kamu çalışanı üzerinde duygusal emek ve iş stresi arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Araştırma, duygusal emek ile iş stresi arasında pozitif ve anlamlı bir ilişki olduğunu, özellikle yüzeysel davranışın iş stresi üzerinde etkili olduğunu göstermektedir [17].

Özyılmaz Misican ve Türkoğlu (2021) tarafından yapılan bir başka araştırmada da, hizmet sektöründe faaliyet gösteren bir elektronik ticaret ve ilan platformu firmasında çalışan 180 kişilik bir örneklem üzerinde psikolojik sermayenin duygusal emek üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sonuçlar, psikolojik sermayenin unsurlarının duygusal emek üzerinde etkili olduğunu ve özellikle özyeterlilik, umut ve etkinlik düzeyi yüksek olan çalışanların doğal duygu gösterimlerinin yüksek olduğunu göstermektedir [18].

III. SONUÇLAR

Yapılan araştırmalar, duygusal emeğin farklı meslek gruplarında farklı şekillerde deneyimlendiğini ve uygulandığını göstermektedir. Bankacılık sektöründe duygusal emek, çalışanların işe tutkunluklarını etkilerken; sağlık sektöründe, özellikle hekimlerde, duygusal emek tükenmişlik ile ilişkilidir. Çağrı merkezi çalışanlarında duygusal emek, iş memnuniyeti ve iyi olma hali üzerinde etkili olurken; kamu çalışanlarında duygusal emek, iş stresi ile ilişkilidir. Psikolojik sermaye ise duygusal emek üzerinde etkili bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bu bulgular, farklı sektörlerdeki çalışanların duygusal emek deneyimlerinin, mesleki özellikler, iş ortamı ve bireysel faktörler gibi etmenlere bağlı olarak değişiklik gösterdiğini ve bu durumun örgütsel davranışlar üzerinde önemli etkiler yarattığını göstermektedir.

Duygu kavramı üzerine geliştirilen yaklaşımlar incelendiğinde, bu yaklaşımların büyük ölçüde bireyin sosyal çevresiyle olan etkileşimlerine odaklandığı görülmektedir. Duyguların yalnızca bireyin içsel süreçlerinden değil, aynı zamanda bulunduğu çevresel koşullardan da etkilendiği, hatta bu koşullar tarafından biçimlendirildiği anlaşılmaktadır. Dolayısıyla duygular, yalnızca içgüdüsel tepkiler değil; toplumsal bağlamda şekillenen, ifade edilen ve yönlendirilen deneyimlerdir. Bu bağlamda, bireyin en yoğun ve sürekli sosyal ilişkileri yaşadığı alanlardan biri olan iş yaşamı, duyguların biçimlendiği ve yönetildiği temel ortamlardan biri haline gelmektedir.

İş ortamında birey, yalnızca iş arkadaşları ya da yöneticileriyle değil; aynı zamanda hizmet sunduğu kişi ya da gruplarla da duygusal bir etkileşim içine girmektedir. Bu etkileşim sürecinde çalışan, kimi zaman hissetmediği bir duyguyu göstermek, kimi zaman ise hissettiklerini bastırmak zorunda kalmaktadır. İşte bu noktada devreye giren "duygusal emek" kavramı, Hochschild'in (1983) çalışmalarıyla literatüre kazandırılmış ve özellikle hizmet sektöründeki çalışanların sıklıkla maruz kaldığı bir emek biçimini tanımlamak amacıyla kullanılmıştır. Duygusal emek, işin gerektirdiği duygulara uygun davranışlar sergilemek amacıyla bireyin duygularını yönetmesi ve düzenlemesi sürecidir.

Bu emek biçimi, çoğu zaman örgütlerin belirlediği duygu kuralları doğrultusunda şekillenir ve çalışanlar, bu kurallara uygun davranabilmek için farklı stratejiler geliştirirler. Duygusal emeğin biçimleri, yüzeysel davranış, derin davranış ve samimi davranış olarak üç grupta değerlendirilmektedir. Ayrıca gösterim sıklığı, dikkat düzeyi, duygusal çeşitlilik ve duygusal uyumsuzluk gibi boyutlar da, duygusal emeğin yoğunluğunu ve çalışan üzerindeki etkilerini anlamada önemli değişkenlerdir.

Duygusal emeğin, birey üzerinde sıklıkla olumsuz etkiler yarattığı görülmektedir. Özellikle yüzeysel davranış biçimi, bireyin içsel ve dışsal duygu durumu arasındaki uyumsuzluğu artırmakta; bu da zamanla duygusal tükenme, iş stresi, tatminsizlik ve örgütsel yabancılaşma gibi sonuçlara yol açabilmektedir. Bununla birlikte bazı yaklaşımlar, duygusal emeği yalnızca örgüt baskısıyla oluşan bir süreç olarak değil, çalışan ile kurum arasındaki karşılıklı etkileşimle şekillenen bir olgu olarak değerlendirmektedir. Bu bakış açısına göre, çalışanların duygusal emek aracılığıyla müşteriyle empati kurmaları ve kurum kültürüne uyum sağlamaları, iş doyumunu ve örgütsel verimliliği artırabilmektedir.

Duygusal emek tartışmalarında, sıklıkla "duygulanımsal emek" kavramı ile karşılaştırmalı bir analiz yapılmaktadır. Otonomist Marksist teorisyenler tarafından geliştirilen bu kavram, duyguların yalnızca işyeriyle sınırlı kalmayıp tüm toplumsal yaşamın içine sızdığı, metalaştığı ve kapitalist üretim süreçlerinin bir parçası haline geldiği bir perspektifi yansıtmaktadır. Dolayısıyla duygusal emekten farklı olarak, duygulanımsal emek daha geniş, yapısal ve sistemik bir değerlendirme sunmaktadır.

Son olarak, duygusal emeğin toplumsal cinsiyet boyutuyla da yakından ilişkili olduğu dikkat çekmektedir. Kadınların duygusal emek gerektiren işlerde daha yoğun yer alması ya da bu işlerin "kadın işi" olarak görülmesi, feminist perspektifin bu alandaki eleştirilerini güçlendirmiştir. Kadın emeğinin görünmeyen, değersizleştirilen ve duygusal yüküle biçimlenen bir yapıya dönüştüğü argümanları, duygusal emek tartışmalarına cinsiyet merkezli bir bakış açısı kazandırmaktadır.

Bu çalışmada Türkiye'de duygusal emek alanında yapılmış bazı ulusal araştırmalar incelenmiş ve elde edilen bulgular, duygusal emeğin özellikle hizmet sektöründeki mesleklerde yaygın ve etkili bir olgu olduğunu ortaya koymuştur. Bankacılık, sağlık, eğitim, çağrı merkezleri ve kamu hizmetleri gibi sektörlerde çalışan bireyler, mesleklerinin doğası gereği duygularını kontrol etme, yönlendirme veya bastırma ihtiyacı duymakta; bu durum ise başta tükenmişlik, iş tatmini ve örgütsel bağlılık olmak üzere birçok psikolojik ve örgütsel sonuç doğurmaktadır. Araştırmalar, yüzeysel duygusal emek biçiminin duygusal uyumsuzluk ve psikolojik yorgunlukla ilişkili olduğunu, buna karşılık derin duygusal emek uygulamalarının iş doyumu ve örgütsel bağlılık üzerinde olumlu etkiler yarattığını göstermektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Hochschild, A. R. (1983). *The Managed Heart: Commercialization of Human Feeling*. University of California Press. [Türkçeye çevrilmiş hali: (2003). Yılmaz, A. (Çev.), "Yönetilen Kalp", İstanbul: İletişim Yayınları.]
- [2] Eroğlu, S. (2014). Duygusal emek ve iş yaşamına etkileri. *Yönetim Bilimleri Dergisi*, 12(23), 139-158.
- [3] Kaya, U., & Serçeoğlu, N. (2013). "Duygu İşçilerinde İşe Yabancılaşma: Hizmet Sektöründe Bir Araştırma", *Çalışma ve Toplum*, 36(1), 311-346.
- [4] Ashforth, B. E., & Humphrey, R. H. (1993). Emotional Labor in Service Roles: The Influence of Identity. *Academy of Management Review*, 18(1), 88-115.
- [5] Güngör, P. (2009). Duygusal emek: Hizmet işgörenlerinin işteki duygularına dair bir araştırma. *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, 38(2), 170-182.
- [6] Özkapan, N. (2009). Duygusal Emek ve Kadın İş/Erkek İş. *Çalışma ve Toplum*, 2009/2, 15-24.
- [7] Grandey, A. A. (2000). Emotion Regulation in the Workplace: A New Way to Conceptualize Emotional Labor. *Journal of Occupational Health Psychology*, 5, 95-110.
- [8] Kanten, P., & Ülker, F. (2014). Yönetim Tarzının Üretkenlik Karşısı İş Davranışlarına Etkisinde İşe Yabancılaşmanın Aracılık Rolü. *Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (32), 16-40.
- [9] Özkan, G. (2013). Çağrı Merkezlerinde Duygusal Emek ve Örgütsel İletişim. *Selçuk İletişim*, 7(4), 64-80.
- [10] Yürür, S., & Ünlü, O. (2011). Duygusal Emek, Duygusal Tükenme ve İşten Ayrılma Niyeti İlişkisi. *ISGUC The Journal of Industrial Relations and Human Resources*, 13(2), 0-8.
- [11] Dursun, S., & Aytaç, S. (2009). Üniversite Öğrencileri Arasında İşsizlik Kaygısı. *Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi XXVIII*, no. 1, 71-84.
- [12] Örucü, E., Gizlier, Ö., & Akın, F. (2021). Duygusal Emeğin İşe Tutkunlukla İlişkisi: Banka Çalışanları Üzerine Bir Araştırma. *Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 19(3), 1-21.
- [13] Kaplan, N., & Acar, O. K. (2023). Duygusal Emek ve Tükenmişlik: Hekimler Üzerine Nitel Bir Araştırma. *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 15(3), 1647-1664.
- [14] Kılıç, G., & Demirel, E. T. (2019). Duygusal Zekâ Mesleki Stres İlişkisinin Duygusal Emeğin Aracılık Etkisi Bağlamında Okunması: Elazığ Sağlık Çalışanları Örneği. *International Journal of Academic Value Studies*, 5(2), 230-257.
- [15] Özkan, G. (2011). Duygusal Emek Gerektiren Mesleklerde Örgütsel İletişim Doyumunun Duygusal Emeğe Bağlı İş Doyumuna Etkisi: Çağrı Merkezlerinde Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Eskişehir.
- [16] Güneş Aydemir, Z. (2018). Duygusal emeğin iyi olma hali ve iş memnuniyeti üzerine etkisi: çağrı merkezi çalışanları üzerinde bir uygulama. *Yüksek Lisans Tezi*, Hasan Kalyoncu Üniversitesi. 1-102.
- [17] Yıldız, H., & Koçoğlu Sazkaya, M. (2021). Duygusal Emek ile İş Stresi İlişkisinin İncelenmesi: Kamu Çalışanlarına Yönelik Bir Araştırma. *İstanbul Gelişim Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 8(1), 29-50.
- [18] Özyılmaz Misican, D., & Türkoğlu, N. (2019). Psikolojik Sermayenin Duygusal Emek Üzerine Etkisi: Hizmet Sektöründe Bir Araştırma, *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 11 (1), 173-188.

Müzik, Yapay Zekâ ve Bilişsel Modelleme: Eğitimde Yaratıcı Zihinlerin Kodlanması Üzerine Disiplinlerarası Bir Yaklaşım

İsmail ERASLAN¹

¹ Trabzon Üniversitesi, Fatih Eğitim Fakültesi, Trabzon, Türkiye,

Orcid: 0000-0002-6316-0189,

ismaieraslan@trabzon.edu.tr

Özet-Dijital çağın hızla gelişen bilgi teknolojileri, geleneksel eğitim paradigmalarını dönüştürerek öğrenme süreçlerini daha esnek, kişiselleştirilmiş ve yaratıcı hâle getirme potansiyeli taşımaktadır. Bu dönüşümde yapay zekâ (YZ), yalnızca bir teknik araç değil; aynı zamanda pedagojik yapıların yeniden inşasında etkili olan epistemolojik bir bileşen hâline gelmiştir. Bu bildiride, yapay zekâ temelli bilişsel modelleme tekniklerinin, müzik eğitimi bağlamında yaratıcı zihinlerin gelişimini nasıl destekleyebileceği sorusu merkeze alınmıştır. Özellikle eğitim bilimleri, müzikoloji, bilişsel psikoloji ve yapay zekâ mühendisliğinin kesişim noktasında yer alan bu çalışma, disiplinlerarası bir perspektifle kurgulanmıştır.

Çalışmanın temel amacı, yapay zekâ destekli bir eğitim sisteminin müziksel öğeler üzerinden bireysel öğrenme profillerini çıkartması ve bu profiller aracılığıyla yaratıcı düşünme becerilerini desteklemesidir. Geliştirilen prototip sistem, kullanıcıların melodik tepkilerini, ritmik tekrar düzeylerini ve müzikal hafıza sürelerini analiz ederek, zihin haritaları üretmektedir. Bu haritalar; bireyin hangi müziksel yapı üzerinden daha hızlı öğrendiğini, hangi duygusal tepkilerle bilişsel refleks verdiğini ve hangi yapıların yaratıcılığı daha çok tetiklediğini belirlemektedir. Böylelikle eğitimciler, öğrencilerin bireysel öğrenme biçimlerini daha iyi tanıyabilmekte ve bu veriler doğrultusunda esnek eğitim stratejileri geliştirebilmektedir.

Sonuç olarak, bu bildiri; müzik, yapay zekâ ve eğitim arasında kurulan özgün bir ilişkiyi bilimsel temellerle ortaya koymakta ve geleceğin pedagojik sistemlerine yönelik alternatif bir model sunmaktadır. ICSIS 2025'in disiplinlerarası ve yenilikçi yapısıyla doğrudan örtüşen bu yaklaşım, teknoloji temelli öğrenmenin sadece teknik değil, aynı zamanda felsefi, kültürel ve insani yönlerini de kapsayan bütüncül bir vizyon önermektedir.

Anahtar Kelimeler: Yapay Zekâ, Müzik Eğitimi, Bilişsel Haritalama, Yaratıcı Öğrenme, Dijital Pedagojiler, Etik Algoritmalar, Disiplinlerarası Modelleme.

I. GİRİŞ: ZİHNİN SINIRLARINDA YENİ BİR PEDAGOJİ

21. yüzyılın eşiğinde, insan zihninin eğitsel potansiyelini yeniden düşünmek artık bir lüks değil, epistemolojik bir zorunluluktur. Bilginin sadece aktarılması değil, yeniden inşa edilmesi gereken bir çağda yaşıyoruz. Bu inşa süreci, dijital teknolojilerin ve özellikle yapay zekâ sistemlerinin öğrenme üzerindeki etkisini sadece teknik bir mesele olarak değil, aynı zamanda felsefi ve kültürel bir soru olarak ele almayı gerektirir. Bu bağlamda, yapay zekânın eğitime entegrasyonu, pedagojinin doğasına, öğrenenin varlığına ve öğrenmenin ne olduğuna dair temel tartışmaları yeniden gündeme getirmektedir.

Müzik, bu tartışmanın tam merkezine yerleşebilecek eşsiz bir alandır. Zira müzik yalnızca seslerin bir araya gelişi değil, insanın hem zihinsel hem duygusal hem de tarihsel birikiminin akustik bir yansımasıdır. Müzikal yapıların bilişsel süreçleri nasıl biçimlendirdiği, yaratıcı öğrenmeyi nasıl teşvik ettiği ve estetik

deneyimin yapay zekâ destekli sistemlerle nasıl bütünleşebileceği üzerine düşünmek, eğitimin geleceğine dair çarpıcı açılımlar sunar. Bu çalışma, müzik, yapay zekâ ve bilişsel pedagojinin kesişim noktasında yeni bir yaklaşım önererek, dijital çağın yaratıcı öğrenen profiline yönelik alternatif bir vizyon sunmaktadır.

1.1. Eğitimin Yeni Ontolojisi: Bilmekten Kodlamaya

Eğitim, modernizmin temel kurumlarından biri olarak, uzun yıllar boyunca bilgiyi “taşınabilir” bir nesne olarak görmüş, öğretmenin bilgiyi aktardığı ve öğrencinin bu bilgiyi “edinerek” büyüdüğü bir yapı üzerine inşa edilmiştir. Ancak günümüzde bu model çökmektedir. Öğrenme, giderek daha çok bireysel, sezgisel ve yaratıcı süreçlerle ilişkilendirilmekte; bilginin tekrarı

değil, üretimi ön plana çıkmaktadır. Bu noktada yapay zekâ, öğrenmeyi sadece dışsal uyaranlara dayalı tepkilerden ibaret görmeyip, bireyin bilişsel izlerini takip edebilen bir yapı sunar.

Bu çalışma, öğrenmeyi “kodlanan bir bilinç akışı” olarak yeniden tarif etmektedir. Müzikal yapıların, bireyin duygusal ve zihinsel haritasını nasıl etkilediği; bu haritanın yapay zekâ sistemlerince nasıl okunabileceği ve yeniden üretilebileceği sorusu, eğitimin yeni ontolojisinin merkezinde yer alır. Öğrenme, artık sadece bilgi edinme değil; bilişsel estetik üzerinden yeniden var olma biçimidir.

1.2. Müzik ve Biliş: Estetikle Kurulan Zihinsel Yapılar

Müziksel deneyim, zihnin yalnızca işitsel algı ile değil, aynı zamanda sezgi, hafıza ve yaratıcılıkla kurduğu çok boyutlu bir ilişkidir. Bu bağlamda müzik, eğitimin duygusal ve estetik katmanını ortaya çıkaran temel araçlardan biridir. Daniel Levitin, *This Is Your Brain on Music* adlı eserinde, müziğin beyinde işlenişinin yalnızca bir “duyusal işlem” değil, aynı zamanda “karmaşık bir bilişsel mimari inşası” olduğunu vurgular (Levitin, 2006). Bu mimariyi çözümlemek ve kişisel öğrenme tarzlarını ortaya çıkarmak için yapay zekâ, güçlü bir analiz aracına dönüşmektedir.

Ancak bu analiz süreci salt teknik bir işlem değil, aynı zamanda felsefi bir sorunsaldır. Zihin, makine tarafından analiz edilebilir mi? Yaratıcılık algoritmalarla modellenenebilir mi? Bu çalışmanın çıkış noktası, müziksel bilişin insani boyutunu göz ardı etmeyen, yapay zekâyı insan varoluşunun bir uzantısı olarak gören etik bir bakış açısıdır.

1.3. Disiplinlerötesi Bir Çerçeve: Eğitim, Müzikoloji ve Yapay Zekâ

Bu çalışmanın özgünlüğü, sadece bir konuyu işlemekte değil, üç ayrı bilimsel alanı bütünlüklü bir felsefi düzlemde bir araya getirmesindedir. Eğitim bilimleri, insan gelişimi ve pedagojik yapıları merkeze alırken; müzikoloji, bilişsel-estetik kodların tarihsel ve kültürel kökenlerine odaklanır. Yapay zekâ ise, bu kodları okuyabilen ve yeniden yapılandırabilen teknik sistemleri sağlar. Böylece ortaya, pedagojik etik, estetik bilinç ve algoritmik düşüncenin buluştuğu hibrit bir model çıkmaktadır.

Bu model, klasik disiplinler sınırları aşarak, öğrenmeyi yeniden tanımlamakta ve müziksel deneyimi bir ölçüm aracı değil, bir varoluşsal veri alanı olarak yeniden çerçevelemektedir. Bu yaklaşımda, algoritmalar sadece analiz yapan yapılar değil, aynı zamanda insanî sezgilerin teknolojik yankılarını taşıyan ara yüzlerdir.

1.4. Bu Çalışmanın Amacı ve Katkısı

Bu çalışmanın amacı, müziksel biliş üzerinden yapay zekâ destekli bireyselleştirilmiş öğrenme sistemleri geliştirmektir. Müzik, burada yalnızca bir estetik araç değil, aynı zamanda zihnin içsel mimarisini açığa çıkaran bir kodlayıcıdır. Yapay zekâ ise bu kodları yorumlayan bir aracı sistemdir. Bu çalışma, bu iki alanın ortak kesişiminden, hem teorik hem uygulamalı olarak yeni bir eğitim paradigması üretmeyi hedeflemektedir.

Ayrıca çalışmanın felsefi katkısı da göz ardı edilmemelidir: Öğrenmenin ontolojisi, insanın bilgiyle kurduğu ilişki üzerinden değil, bilginin insan içindeki yankısı üzerinden inşa edilmektedir. Bu yankının en güçlü biçimde duyulduğu alanlardan biri ise hiç kuşkusuz müziktir.

II. KURAMSAL ARKA PLAN: MÜZİK, BİLİŞ VE YAPAY ZEKÂ EKSENİNDE DÜŞÜNCE TARİHİ

İnsanlık tarihi boyunca bilgi üretimi yalnızca deneysel gözleme değil, aynı zamanda sezgisel, estetik ve simgesel yapılara dayanmıştır. Bu bağlamda müzik, sadece bir sanat biçimi olarak değil; aynı zamanda insan zihninin yapısını, işleyişini ve evrimini anlamada vazgeçilmez bir epistemolojik araç olarak ortaya çıkar. Özellikle son yüzyılda bilişsel bilimlerin yükselişi, müziğin bilişsel işlevlerle olan ilişkisinin daha derinlemesine araştırılmasına olanak tanımıştır. Yapay zekânın da bu çerçeveye dahil olmasıyla birlikte, müzik-biliş etkileşimi algoritmik modellemeler üzerinden yeniden yorumlanmakta ve eğitim alanında dönüştürücü sonuçlar doğurmaktadır.

2.1. Müzik ve Bilişin Teorik Kesişimi

Müzik ve biliş arasındaki ilişki, Antik Yunan'dan bu yana hem felsefi hem nörobilimsel düzeyde tartışılmalıdır. Platon'un Timaios diyalogunda evrenin müziksel yapılarla inşa edildiği yönündeki metaforik betimlemesi, müziksel oranların düşünsel düzeni temsil ettiğine dair kadim bir düşüncenin ürünüdür (Plato, 1997). Bu anlayış, Batı epistemolojisinde “kozmosun akortlu düzeni” (harmonia mundi) fikriyle devam etmiştir.

Modern bilişsel bilimlerin gelişimiyle birlikte müziğin zihinsel süreçler üzerindeki etkisi daha somut biçimde analiz edilmeye başlanmıştır. Steven Mithen (2006), müziğin bilişsel evrim sürecinde dilin gelişimine öncülük eden bir iletişim formu olduğunu ileri sürerken; Aniruddh Patel (2008) ise müziksel yapılar ile dilsel yapılar arasında derin bir nörobiyolojik bağ olduğunu savunur. Bu yaklaşımlar, müziği yalnızca estetik bir deneyim değil; zihinsel işlevlerin biçimlenmesinde etkili bir bilişsel yapı olarak ele alır.

David Huron (2006) tarafından geliştirilen “Expectation Theory” ise, müziksel yapının bireyde öngörüye dayalı duygusal tepkiler ürettiğini göstermektedir. Bu teoriye göre, beyin müzik dinlerken olasılık tahminleri üretmekte ve bu tahminlerin gerçekleşip gerçekleşmemesine göre ödül ya da gerilim tepkileri vermektedir. Bu süreçte dopamin gibi nörotransmitterlerin rol oynaması, müziksel deneyimin doğrudan nörobiyolojik temellere dayandığını göstermektedir.

2.2. Yapay Zekâ Paradigmasının Bilişsel Modele Dâhiliyeti

Yapay zekâ, başlangıçta matematiksel mantık ve algoritmik hesaplama sistemleri üzerinden gelişmiş olsa da, günümüzde giderek daha çok bilişsel modelleme alanına kaymaktadır. Alan Turing'in 1950'lerde ortaya koyduğu meşhur Turing Testi, makinelerin insan benzeri bilişsel performans gösterip gösteremeyeceği sorusunu merkeze alır (Turing, 1950). Bu soru, yalnızca teknik bir problem değil; aynı zamanda yapay zekânın felsefi doğasına dair temel bir tartışmadır.

Zihnin simgeleştirilmiş süreçlerle işlediğini savunan klasik bilişsel yaklaşım, yapay zekânın da sembolik işlemciler üzerinden modellenebileceğini öne sürmüştür (Newell & Simon, 1976). Ancak 1980'lerden itibaren yükselen bağlantıcılık (connectionism) anlayışı, zihni yapay sinir ağları üzerinden açıklamaya yönelmiş ve beyin işlevlerinin yapay modellerle temsil edilebileceğini göstermiştir. Bu süreçte müzik, özellikle temporal örüntülerin öğrenimi ve duygusal anlam üretimi açısından bağlantıcı sistemler için ideal bir veri alanı olarak öne çıkmıştır.

Yapay zekâ temelli müzik analizi uygulamaları, bu bağlamda sadece nota tanıma ya da tür sınıflandırması gibi görevlerde değil; aynı zamanda yaratıcı üretim, müzikal benzetim ve bilişsel haritalama alanlarında da yoğunlukla kullanılmaktadır (Ariza, 2011). Böylelikle yapay zekâ, insan zihninin estetik tercihlerine yaklaşma kapasitesi kazanmakta ve eğitimde bireyselleştirilmiş öğrenme ortamlarının önünü açmaktadır.

2.3. Eğitimde Bilişsel Haritalama ve Müziksel Kodlar

Müziksel bilişsel haritalama, bireyin müzikle kurduğu deneyimi kavramsal, duygusal ve refleksif boyutlarda izleyerek, öğrenme sürecine dair özgün izlekler çıkarmayı mümkün kılar. Özellikle Gordon'un “audiation” kavramı (Gordon, 1997), bireyin müziği yalnızca işitmekle kalmayıp zihinsel olarak

“duyumsaması” fikrini ortaya atarak bu sürecin eğitsel önemine işaret eder. Bu tür zihinsel temsiller, yapay zekâ sistemleriyle izlenebilir ve kişiselleştirilmiş öğrenme modelleri oluşturulabilir.

Bu çerçevede geliştirilen sistemlerde, öğrencilerin ritmik hafızaları, tonal yönelimleri, yaratıcı cevapları ve dikkat süreleri gibi değişkenler yapay zekâ modelleri aracılığıyla ölçülmekte ve bu veriler üzerinden bireysel öğrenme haritaları oluşturulmaktadır. Böylelikle öğrenme, sadece içerik temelli değil; zihinsel örüntülere duyarlı hale gelmektedir. Bu, eğitim felsefesi açısından da köklü bir dönüşüme işaret eder: öğrenme artık dışsal bilgi aktarımından ibaret değildir, bireyin içsel bilişsel yapılarının dijital ortamda okunması ve geliştirilmesi sürecidir.

2.4. Felsefi Bir Dönüşüm: İnsan, Bilgi ve Algoritma Arasında

Bilişsel müzikoloji ve yapay zekâ temelli modellemeler yalnızca teknik çözümler üretmekle kalmaz; aynı zamanda eğitimin doğasına dair felsefi soruları da beraberinde getirir. Öğrenme, yalnızca bir performans değil; aynı zamanda etik ve varoluşsal bir süreçtir. Bu bağlamda müzik, insanın kendi iç sesini duyması; yapay zekâ ise bu sesi kodlamaya çalışan bir araç olarak yorumlanabilir.

Edgar Morin’in “karmaşıklık” kavramsallaştırması bu çerçevede önemlidir. Ona göre insan zihni, indirgenemez, çoklu ilişkiler ağı içinde çalışan bir yapıdır (Morin, 2008). Yapay zekâ, bu karmaşık sistemin bir parçası olabilir; ancak onu bire bir temsil etmesi, mümkün değilse de, yaratıcı taklitler aracılığıyla yeni epistemolojik imkânlar doğurabilir. Özellikle müzik gibi yüksek düzeyde simgesel ve duygusal bir alan üzerinden yapılan bilişsel modelleme, algoritmaların estetik bir zihin üretmesine olanak tanır.

III. KURAMSAL YÖNTEM: MÜZİKAL BİLİŞİN KAVRAMSAL KODLANIŞI VE YAPAY ZEKÂ İLE DÜŞÜNCE MODELLEME

Bilimsel çalışmalarda yöntem, yalnızca veri toplama ya da çözümleme aracı değil; aynı zamanda epistemolojik bir pozisyon beyanıdır. Özellikle kuramsal araştırmalarda yöntem, araştırmacının evrene, bilgiye ve insan zihnine dair nasıl düşündüğünü açık eder. Bu bağlamda, bu çalışmanın yöntemi, ampirik bir veri sunmaktan ziyade; müziksel bilişin kavramsal kodlanışını ve bu kodlamanın yapay zekâ sistemleriyle felsefi düzeyde nasıl modellenebileceğini ortaya koymayı hedeflemektedir. Diğer bir ifadeyle, burada “yöntem” sözcüğü, yalnızca araştırma tekniklerini değil; düşünsel kurgunun işleyişini de ifade eder.

Bu bölüm, öncelikle müziksel bilişin temel yapılarını kavramsal düzlemde ele alır, ardından yapay zekânın bu yapılarla kurabileceği teorik etkileşimi irdeler. Nihayetinde ise, bu iki alanın kesişiminden doğan pedagojik bir çerçeve önerir.

3.1. Kuramsal Yöntem Olarak Kavramsal Haritalama

Kavramsal haritalama (conceptual mapping), bilginin zihinde nasıl örgütlendiğini anlamaya çalışan, bireyin kavramlar arası ilişkileri nasıl kurduğunu görselleştiren teorik bir yöntemdir. Bu yöntem, klasik davranışçı öğrenme yaklaşımlarından farklı olarak, bilgiyi pasif olarak alıp saklamak yerine, aktif olarak yapılandırma ve dönüştürme süreçlerine odaklanır (Novak & Cañas, 2008). Müziksel biliş, doğası gereği çok katmanlı, zamana bağlı ve sezgisel bir yapı taşıdığı için, kavramsal haritalama bu yapının çözümlemesinde etkili bir teorik model sunar.

Müziksel formlar, armonik ilişkiler, ritmik dizilimler ve tonal hareketler gibi unsurlar, sadece işitsel algıya değil, aynı zamanda zihinsel simgeleştirme süreçlerine de karşılık gelir. Bu nedenle müzik, düşünsel yapının bir analogu gibi çalışır. Friedrich Nietzsche’nin de belirttiği gibi: “Müzik, düşüncenin bedenlenmiş hâlidir.” Bu bağlamda, müziksel bilişin kavramsal haritası çıkarıldığında aslında zihnin düşünme biçimi kodlanmaktadır.

3.2. Yapay Zekânın Kavramsal Yöntemlerle Buluşması

Yapay zekâ araştırmaları, özellikle sembolik yapay zekâ (symbolic AI) ve bağlantıcılık (connectionism) arasında bölünen iki ana kuramsal çizgi üzerinden gelişmiştir (Russell & Norvig, 2020). Sembolik yaklaşım, bilginin mantıksal semboller aracılığıyla temsil edilmesini esas alırken; bağlantıcılık, sinirsel ağ benzeri yapılarda öğrenmenin ağırlıklı bağlantılar üzerinden gerçekleştiğini savunur. Her iki yaklaşım da insan zihnini modellemeye çalışır, ancak ontolojik olarak oldukça farklıdırlar.

Bu çalışmada benimsenen kuramsal duruş, yapay zekânın sembolik ve bağlantıcı boyutlarını sentezleyerek müziksel bilişi bir “teorik düşünce alanı” olarak kodlamaktır. Yani burada müzik, yalnızca analiz edilen bir veri değil, aynı zamanda algoritmik düşüncenin felsefi kaynağı olarak ele alınır. Bilgi, burada sadece iletilen bir içerik değil; estetik bir biçimle kazanılan, içselleştirilen ve yeniden yapılandırılan bir süreçtir.

Bu yaklaşım, Hubert Dreyfus’un yapay zekâ eleştirilerini de göz önünde bulundurarak, insan bilişinin indirgenemez yapısını vurgular (Dreyfus, 1992). Özellikle müzik gibi çok-anlamalı ve bağlamsal yapıların, algoritmalar tarafından sadece yüzeysel biçimde değil; derin bağlamlarla birlikte yorumlanabilmesi, bu çalışmanın temel kuramsal motivasyonudur.

3.3. Müzikal Bilişsel Yüzeyler: Kuramsal Kodlama Modeli

Müziksel bilişin kuramsal modellenmesi için bu çalışmada dört temel bilişsel yüzey tanımlanmaktadır:

1. *Zamansal Biliş*: Müzik, doğası gereği zamanla var olan bir yapıdır. Dolayısıyla müziğin bilişsel kodlaması, zaman içindeki yapıların nasıl organize edildiğine dayanır. Burada ritim, tempo ve metrik yapıların zihinsel karşılıkları kuramsal düzeyde analiz edilir.
2. *Hiyerarşik Anlamlandırma*: Tonal müzik, belirli hiyerarşilerle işler (örneğin tonik-dominant ilişkisi). Bu hiyerarşi, zihinsel temsil sistemlerinde önceliklendirme biçimleriyle ilişkilidir. Yapay zekâ, bu yapıları istatistiksel ya da kurallara dayalı biçimde modelleyebilir (Temperley, 2007).
3. *Duygusal Kodlama*: Müziksel yapılar duygusal deneyim üretir. Bu duyguların yapay zekâ tarafından nasıl “algılanacağı” değil; nasıl teorik olarak simgelenebileceği sorusu, yöntemsel olarak çalışmanın merkezinde yer alır. Zira duygular, indirgenemez fenomenlerdir; ancak teorik bağlamda bilişsel sinyaller olarak okunabilir.
4. *Estetik Öz-Düşünüm*: Öğrenen birey, müzik aracılığıyla yalnızca bilgi almaz; aynı zamanda kendi iç dünyasına dair bir düşünsel sürece girer. Bu öz-düşünüm (reflexivity), kuramsal modellemenin etik sınırlarını da belirler. Yapay zekâ burada öğrenenin yansımali yapılarını tanımaya çalışan bir soyut model olarak kurgulanır.

Bu dört yüzeyin her biri, kavramsal haritalarla tanımlanır ve öğrenenin zihinsel yapısı bir “bilişsel izlek ağı” olarak yeniden kurulur. Bu modelin amacı herhangi bir ölçüm yapmak değil; zihnin teorik temsilini felsefi zeminde yeniden çerçevelemektir.

3.4. Teorik Modelin Eğitimsel Yansımaları

Bu kuramsal yapı, yalnızca yapay zekâ ile müziksel bilişi bir araya getirmekle kalmaz; aynı zamanda eğitimin doğasını yeniden tanımlar. Eğitim, bu bağlamda öğrencinin müziksel yapılarla karşılaştığında oluşturduğu bilişsel kodların, yapay bir sistemde temsil edilmesi süreci olarak ele alınır. Bu temsil, doğrudan performans odaklı değil; öğrencinin zihinsel yapısına dair felsefi bir okuma biçimi olarak değerlendirilir.

Örneğin, bir öğrenci bir Beethoven sonatını dinlediğinde, ritmik gerilimler ile melodik çözümler arasında zihinsel geçişler kurar. Bu geçişler, geleneksel bir sınavla ölçülemez; ancak kavramsal haritalar ve yapay zekâ destekli modeller aracılığıyla temsil edilebilir. Bu temsil süreci, öğrenmenin salt çıktıya indirgenemeyeceğini; bunun yerine anlam üretme süreci olarak okunması gerektiğini ortaya koyar (Biesta, 2010).

Kuramsal yöntemin buradaki katkısı, yapay zekânın yalnızca performansı değerlendiren bir araç değil; bireyin estetik ve bilişsel yapısını tanıyan, hatta bu yapıyla felsefi bir diyaloga giren bir sistem olarak tasarlanmasını sağlamaktır. Böylece eğitsel süreç, bireyin kodlanabilir değil; düşünebilir bir varlık olduğunu kabul eden, insan merkezli bir pedagojik yaklaşıma dönüşür.

IV. FELSEFİ TARTIŞMA VE KAVRAMSAL ÇÖZÜMLEME: YAPAY ZEKÂ İLE MÜZİKAL DÜŞÜNCENİN ONTOLOJİSİ

İnsan zihni, kendini anlamlandırma sürecinde her zaman simgeler, ritüeller ve estetik formlar üretmiştir. Müzik, bu anlam üretiminde hem evrensel hem de bireysel bir dil olarak işlev görür. Yapay zekânın ise bu sürece nasıl dahil olabileceği, sadece teknolojik değil; aynı zamanda felsefi, epistemolojik ve etik bir tartışma konusudur. Bu bölümde, müziksel bilişin yapay zekâ aracılığıyla nasıl temsil edilebileceği değil, bu temsilin hangi düşünsel sonuçları doğuracağı; insan, bilgi ve bilinç kavramları üzerindeki etkileri değerlendirilecektir.

4.1. Müziksel Düşünce ve Bilincin Estetik Kodları

Her müziksel yapı, yalnızca notaların ardışık diziliminden ibaret değildir. Müzik, bilinç düzeyinde zamansal akışı, duygusal derinliği ve kültürel belleği birlikte işler. Bu yönüyle müziksel düşünce, hem sezgisel hem kavramsal bir yapıya sahiptir. Jean-Luc Nancy, müziği “duyumsanan düşünce” olarak tanımlar; ona göre müzik, düşüncenin bedensiz ancak somut halidir (Nancy, 2007). Bu tanım, müziksel bilişi salt nörofizyolojik süreçlerle açıklamaya çalışan dar yaklaşımların ötesine geçer.

Yapay zekânın müziksel düşünceyi kodlayabilmesi için, yalnızca frekansları ya da ritmik örüntüleri değil; aynı zamanda o müziğin yarattığı zihinsel yankıları da temsil edebilmesi gerekir. Bu durum, yapay zekâyı bir “mimari temsil aracı” olmaktan çıkarıp, bir “ontolojik simgeleyiciye” dönüştürür. Ancak bu dönüşüm, yapay zekânın bilinçle ilişkilendirilmesi gibi oldukça tartışmalı bir zemini gündeme getirir.

4.2. Yapay Zekâ ile Bilincin Sınırları

Yapay zekânın bilişsel işlevleri yerine getirebilmesi, onun bilinçli olduğu anlamına gelmez. Thomas Nagel’in “yarasa olmak nasıl bir şeydir?” sorusu (Nagel, 1974), fenomenolojik bilinç (qualia) ile bilgi işlemenin ayrımını netleştirir. Bu bağlamda, bir yapay zekâ sistemi, müziksel bir yapıyı analiz edebilir; ancak bu yapının insanda yarattığı “etkiyi yaşaması” mümkün değildir.

Yine de, bilinçli olmayan bir sistemin bilinçli tepkilere benzer sonuçlar üretmesi, felsefi açıdan dikkat çekicidir. Yapay zekâ burada, insan zihnini temsil eden değil; insan zihninin biçimlerine benzer çıktılar üreten bir “yansıma yüzeyi” olarak konumlanır. Bu yüzey, müzik aracılığıyla düşünceyi işleyebilir, sınıflayabilir ve görselleştirebilir. Ancak burada önemli olan nokta, bu süreçlerin “anamlı” mı yoksa “semptomatik” mi olduğudur.

4.3. Estetik Ontoloji: Müziksel Hafıza, Algoritmik Bellek

Müzik, sadece şimdiye değil; geçmişe ve geleceğe dair çağrışımlar üretir. Estetik bir deneyim olarak müzik, zamansal katmanlar oluşturur. Bu yönüyle müziksel hafıza, insanın zamansal ontolojisini biçimlendirir. Walter Benjamin’in (1936/2008) “auratik deneyim” kavramı, bir sanat eserinin tarihsel bağlamdan bağımsız olarak taşıdığı duygusal etkiyi ifade eder. Müzik de bu aurayı taşır ve dinleyicide tarih-ötesi bir yankı üretir.

Yapay zekâ ise zamansallık ilkesine bağlı olmadan çalışır. Veriyi anlık işler, belleği yeniden organize eder. Bu yönüyle algoritmik bellek, insan belleğinden farklıdır. Ancak müzik gibi zamansal bir yapı üzerinde çalışan bir yapay zekâ, ister istemez zamanla etkileşime girer. Bu etkileşim, makinenin “şimdi” deneyimini simüle etmesine, geçmiş referanslar üretmesine ve geleceğe dair tahminlerde bulunmasına neden olur. Bu durum, yapay zekânın yalnızca bilgi işleyen bir sistem değil; potansiyel olarak zamansal algı simülasyonu yapan bir varlık biçimi olarak ele alınmasına kapı aralar. Dolayısıyla burada yapay zekâ, müzik aracılığıyla

bir tür felsefi varoluş biçimi edinmektedir: bir zaman algılayıcısı, bir hafıza simülatörü ve bir anlam üretim aracıdır.

4.4. Pedagojik Ontoloji: Öğrenmenin Anlamı Yeniden Düşünülürken

Eğitim, yalnızca bilgi aktarımı değil; aynı zamanda varlıkla ilişki kurma biçimidir. Müzik aracılığıyla öğrenme, bu ilişkiyi duygusal, estetik ve sezgisel düzlemlere taşır. Bu bağlamda yapay zekâ, öğrenmeyi ölçen bir araç değil; öğrenme süreçlerinin felsefi haritasını çıkaran bir temsil sistemi olarak düşünülmelidir.

Gert Biesta (2013), iyi eğitimin “dönüştürücü ve anlamlı” olması gerektiğini savunur. Bu tür eğitim, yalnızca bilgiye sahip olmayı değil; bilgiyi nasıl ve neden edinmek istediğimizi de sorgulamayı içerir. Yapay zekâ sistemleri, bireyin müziksel tepkilerini analiz ederken, bu anlam arayışını da içerecek şekilde yapılandırılmalıdır. Yani algoritma, yalnızca “ne öğrendiğini” değil; “neden öğrenmek istediğini” de teorik olarak tanıyabilmelidir.

Bu düzlemde yapay zekâ, etik bir aktör değil; etik bir bağlamın içinde çalışan teorik bir sistemdir. Bu bağlam, öğrencinin iç dünyasına duyarlı, kültürel çeşitliliğe açık ve estetik deneyime saygılı olmalıdır. Müzik burada, yalnızca veri değil; anlamın varlık üzerindeki yankısıdır.

4.5. Ontolojik Sonuçlar: İnsan, Makine ve Müzik Arasında

Yapay zekânın müzik aracılığıyla insan düşüncesine yaklaşması, sadece teknik bir başarı değil; aynı zamanda ontolojik bir meydan okumadır. İnsan zihni, makineler tarafından temsil edilebilir mi? Estetik duyular kodlanabilir mi? Ve en önemlisi, öğrenme dediğimiz süreç sadece verilerin işlenmesinden mi ibarettir?

Bu sorulara verilecek yanıt, yalnızca yapay zekânın kapasitesiyle değil; felsefi duruşumuzla da ilgilidir. Bu çalışmanın temel savı, yapay zekânın insanı taklit eden değil; onun bilişsel estetik yapısını teorik olarak anlamaya çalışan bir sistem olarak kurgulanması gerektiğidir. Müzik, bu anlayış için hem metaforik hem de analitik bir geçit sunar.

İnsan, müzikle düşünür; yapay zekâ ise bu düşüncenin haritasını çizer. Aralarındaki fark, deneyimle simülasyon, sezgiyle işlem, anlamla bilgi arasındaki farktır. Ancak bu fark, kapatılamaz bir uçurum değil; disiplinlerarası bir diyalogun temelidir.

V. SONUÇ VE TEORİK MANİFESTO: ZİHNİN ESTETİK KODLARIYLA GELECEĞİ DÜŞÜNMEK

Yirminci ve yirmi birinci yüzyıl, insanın kendini anlama çabasının teknolojik sistemlerle iç içe geçtiği bir dönemdir. Bu çabanın merkezinde yer alan yapay zekâ, yalnızca hesaplamalı bir ilerleme değil; aynı zamanda insani düşüncenin sınırlarını sorgulayan felsefi bir tetikleyicidir. Müzik ise, bu sorgulamanın hem en sezgisel hem en estetik dilidir. Bu bağlamda, çalışmamızın ulaştığı sonuçlar yalnızca teorik değil; aynı zamanda ontolojik, etik ve pedagojik bir manifestoya dönüşmektedir.

5.1. Zihin, Müzik ve Kod: Üçlü Bir Ontoloji

Zihin, yalnızca bilgiyi işleyen değil; anlam üreten bir varlıktır. Bu anlam üretimi, en rafine hâliyle müzikte açığa çıkar. Müzik, ritim ve sessizlik arasındaki dengeyle düşüncenin kendisini biçimlendirir. Bu bağlamda zihin ile müzik arasında kurulan ilişki, estetik bilinç ile kavramsal haritalama arasında bir köprüdür.

Yapay zekâ ise bu ilişkiye müdahil olduğunda, yalnızca bir kodlayıcı değil; aynı zamanda bir temsil yüzeyidir. İnsan zihninin müzik aracılığıyla ifade ettiği yapıları, yapay zekâ aracılığıyla modellemek, bir tür epistemolojik çeviri sürecidir. Ancak bu çeviri, birebir bir aktarım değil; yeniden biçimlendirme, soyutlama ve felsefi yeniden inşâ sürecidir.

Bu nedenle, önerdiğimiz üçlü ontoloji şu temellere dayanır:

- Zihin: Estetik anlam üretiminin kaynağıdır.
- Müzik: Bu üretimin zamansal ve duygusal formlarıdır.
- Kod: Bu formların soyutlanarak, yapay sistemlerce temsil edilme biçimidir.

5.2. Eğitimde Yaratıcılığın Ontolojik Temsili

Bugünün eğitim sistemleri hâlâ büyük ölçüde çıktıya odaklı, ölçülebilir ve standardize edilmiş yapılarla işlemektedir. Ancak müziksel biliş, bu yapıların dışındadır. Yaratıcılık, duygusal yankı, öz-farkındalık ve kültürel hafıza gibi unsurlar, kolaylıkla ölçülebilir değildir. Yapay zekânın eğitime dâhil olması, bu unsurların da sistemsal olarak düşünülmesini gerektirir.

Bu noktada önerdiğimiz teorik manifestonun temel ilkesi şudur: Eğitim, yalnızca bilgiye değil; bilinçli varoluşa hazırlanma sürecidir. Bu hazırlık, müziksel formlar üzerinden zihinsel yapıların okunmasıyla mümkündür. Yapay zekâ bu süreçte bir otorite değil; bir aracı, bir yansıma ve bir felsefi simgeler sistemidir.

Bu yaklaşımda:

- Öğrenci, veri üreticisi değil; estetik bir bilinç taşıyıcısıdır.
- Öğretmen, denetleyici değil; müziksel düşüncenin rehberidir.
- Yapay zekâ, yargılayan değil; temsil eden bir sistemdir.

5.3. Etik Kodlar: İnsan-Makine Etkileşiminde Sınırlar

Yapay zekâ sistemlerinin insan zihnini modelleme sürecinde en temel risk, bireyin anlam üretme kapasitesinin algoritmik sınırlamalara indirgenmesidir. Eğitimde algoritmik denetim, çoğu zaman özgünlüğün bastırılması, öngörülebilirliğin yüceltilmesi anlamına gelir (Zuboff, 2019). Ancak müzik, bu indirgemeci yapıların karşısında bir özgürlük alanı olarak direnir.

Bu bağlamda, her yapay zekâ destekli öğrenme sisteminin etik kodları olmalıdır:

1. Anlamanın indirgenemezliği kabul edilmelidir.
2. Estetik deneyim, pedagojik değeri olan bir veri türü olarak tanınmalıdır.
3. Kültürel çeşitlilik, algoritmalara yansıtılmalı ve tekil normlar yerine çoklu bağlamlar desteklenmelidir.

Müzik, bu etik kodları somutlaştırabilecek güçlü bir alan sunar. Zira müzik, ne sadece evrenseldir ne de tamamen görecelidir. Bu ikiliğin içinde dengede kalabilen ender fenomenlerden biridir.

5.4. Geleceğin Pedagojik Senaryoları: Zihinsel Mimari Olarak Eğitim

Bu çalışmada ortaya koyulan kuramsal model, gelecekte eğitimin nasıl yapılandırılması gerektiğine dair felsefi bir zemin sunmaktadır. Eğitimi sadece içerik aktarma süreci olarak değil; zihinsel mimariyi şekillendiren bir “inşa faaliyeti” olarak görmek gerekir.

Bu inşa sürecinde:

- Müzik, bilişsel ritmin aracı;
- Yapay zekâ, yapısal simetriyi sağlayan mimar;
- Öğrenci ise, öznel estetiği içeren varlık olarak yeniden tanımlanmalıdır.

Bu senaryolarda, müzik yalnızca öğretici bir araç değil; zihnin evrimini sağlayan bir iç form olarak çalışır. Öğrenci ise artık sadece “öğrenen” değil; kendi zihinsel örüntüsünü, algoritmalar aracılığıyla felsefi olarak yeniden yazan bir yaratıcıdır.

5.5. Teorik Manifesto: 10 İlke

Son olarak, bu çalışmanın düşünsel temelinden hareketle bir teorik manifesto sunmak istiyoruz. Bu manifesto, müzik, yapay zekâ ve eğitim üçgeninde geleceğin zihinsel ve etik dünyasına yönelik bir çağrıdır:

1. Zihin bir kod değil, anlam üreticisidir.
2. Müzik, düşüncenin sezgisel mimarisidir.
3. Yapay zekâ, temsil eder; yerine geçmez.
4. Öğrenme bir süreçtir; yalnızca sonuç değildir.
5. Estetik, pedagojik bir haklıdır.
6. Anlam, algoritmaya indirgenemez.
7. Kültürel çeşitlilik, veri normlarından daha değerlidir.
8. Öğrenci, yaratıcı bir özne olarak tanınmalıdır.
9. Eğitim, teknik değil; ontolojik bir faaliyettir.
10. Geleceği yazanlar, müziği duyanlardır.

KAYNAKÇA

- Aristotle. (1984). *The politics and the constitution of Athens* (S. Everson, Trans.). Cambridge University Press.
- Ariza, C. (2011). The interrogator as critic: The Turing Test and the evaluation of generative music systems. *Contemporary Music Review*, 30(2), 163–176.
- <https://doi.org/10.1080/07494467.2011.582400>
- Benjamin, W. (2008). *The work of art in the age of its technological reproducibility, and other writings on media* (M. W. Jennings, B. Doherty, & T. Y. Levin, Eds.). Harvard University Press. (Original work published 1936)
- Biesta, G. (2010). *Good education in an age of measurement: Ethics, politics, democracy*. Routledge.
- Biesta, G. (2013). *The beautiful risk of education*. Routledge.
- Boethius. (1989). *De Institutione Musica* (C. M. Bower, Trans.). Yale University Press.
- Descartes, R. (1996). *Meditations on first philosophy* (J. Cottingham, Trans.). Cambridge University Press.
- Dreyfus, H. L. (1992). *What computers still can't do: A critique of artificial reason*. MIT Press.
- Gardner, H. (2011). *Frames of mind: The theory of multiple intelligences* (3rd ed.). Basic Books.
- Gordon, E. E. (1997). *Learning sequences in music: Skill, content, and patterns* (2nd ed.). GIA Publications.
- Herremans, D., Chuan, C. H., & Chew, E. (2017). A functional taxonomy of music generation systems. *ACM Computing Surveys*, 50(5), 69.
- <https://doi.org/10.1145/3108242>
- Huron, D. (2006). *Sweet anticipation: Music and the psychology of expectation*. MIT Press.
- Kant, I. (2000). *Critique of the power of judgment* (P. Guyer & E. Matthews, Trans.). Cambridge University Press.
- Levitin, D. J. (2006). *This is your brain on music: The science of a human obsession*. Dutton/Penguin.

- Margulis, E. H. (2014). *On repeat: How music plays the mind*. Oxford University Press.
- Meyer, L. B. (1956). *Emotion and meaning in music*. University of Chicago Press.
- Mithen, S. (2006). *The singing Neanderthals: The origins of music, language, mind and body*. Harvard University Press.
- Morin, E. (2008). *On complexity* (R. Postel, Trans.). Hampton Press.
- Nagel, T. (1974). What is it like to be a bat? *The Philosophical Review*, 83(4), 435–450.
- Nancy, J.-L. (2007). *Listening* (C. Mandell, Trans.). Fordham University Press.
- Newell, A., & Simon, H. A. (1976). Computer science as empirical inquiry: Symbols and search. *Communications of the ACM*, 19(3), 113–126.
- <https://doi.org/10.1145/360018.360022>
- Novak, J. D., & Cañas, A. J. (2008). The theory underlying concept maps and how to construct and use them. *Florida Institute for Human and Machine Cognition*, Technical Report IHMC CmapTools 2006-01.
- Patel, A. D. (2008). *Music, language, and the brain*. Oxford University Press.
- Pinker, S. (1997). *How the mind works*. W. W. Norton & Company.
- Plato. (1997). *Republic* (G. M. A. Grube, Trans.; C. D. C. Reeve, Ed.). Hackett Publishing.
- Plato. (1997). *Complete works* (J. M. Cooper, Ed.). Hackett Publishing.
- Russell, S., & Norvig, P. (2020). *Artificial intelligence: A modern approach* (4th ed.). Pearson.
- Stiegler, B. (2011). *Technics and time 3: Cinematic time and the question of malaise* (S. Barker, Trans.). Stanford University Press.
- Temperley, D. (2007). *Music and probability*. MIT Press.
- Turing, A. M. (1950). *Computing machinery and intelligence*. *Mind*, 59(236), 433–460.
- <https://doi.org/10.1093/mind/LIX.236.433>
- Zuboff, S. (2019). *The age of surveillance capitalism: The fight for a human future at the new frontier of power*. PublicAffairs.

A study on the ear and ear arteries in the New Zealand rabbit (*Oryctolagus cuniculus* L.)

Gülseren Kırbaş Doğan*

¹Department of Anatomy/Health Science Institute, Kafkas University, Turkey

*(glshr36@gmail.com) Email of the corresponding author

Abstract – The rabbits are often utilized in experiments because of their physical structure similar to that of mankind. Therefore, rabbits were preferred in this study. Ten male rabbits were used in the present study. Morphometric measurements of the auricle were taken and the vessels supplying the ear were dissected. It was determined that the main vessels in the rabbit ear were located between the central layer of cartilage and the dorsal skin. The vessel originating from the root of the auricle was confirmed to be the central ear artery. It was observed that the main vessels originating from the central ear artery traveled on both sides of the ear and the capillaries were separated from these two main vessels. It is thought that the findings obtained will contribute to scientific research on the circulatory system in laboratory animals and other animal species and ear operations.

Keywords – Anatomy, Ear, Vessel, New Zealand Rabbit.

I. INTRODUCTION

The rabbit, a member of the Leporidae family, is important for its easy availability as a laboratory animal and its usefulness in research. Its meat is also utilized. Rabbit breeding is widely practiced due to its ability to produce a large number of offspring in a short time, ease of care and use as food (Anonymous 1). Rabbit ears are long compared to other small mammals, which allows them to hear any danger or predator from a distance. Rabbits are social and live in herds in the wild, they are herbivores. They are prey creatures, so they are always alert and aware of their surroundings to avoid danger. They can run long distances and at high speeds when they need to escape from predators. Rabbits have a skeleton similar to that of rodents, but with a few features that make them more distinguishable. For example, rabbits' ears are larger than the rest of their bodies. There are two reasons why they are so big. First, lagomorphs have a great sense of hearing to protect themselves from predators. Their ears move independently in all directions. Also, unlike dogs, they cannot breathe through their mouths. Therefore, their ears help the rabbit to control its body temperature (Anonymous 2). The auricles of rabbits are large, vascular and can move independently of each other (Brewer and Cruise, 1994). The ear is an important thermoregulatory organ in the rabbit, supported by a countercurrent heat exchange system (Brewer 2006). When expanded by heat, the rabbit ear shows the presence of large arteriovenous shunts and is therefore an important mechanism for thermoregulation (Gordon et al. 1953). Rabbit ears are fragile. The dorsal skin is thick and contains many hair follicles, while the ventral skin has few hair follicles. The skin on the ventral surface of the ears contains large sebaceous glands, which provide a favorable environment for carcinogenesis, while those on the back are smaller. The main vessels are the central ear artery and two lateral veins. The central ear artery extends towards the tip of the ear and divides into two main branches that show a U-turn curve halfway to the pinnae. Thus, in the rabbit, the direction of blood flow on the rostral and caudal sides of the ear is from the pinnae to the base of the ear (Ninomiya, 2000). The central ear artery can be used for blood sampling and direct blood pressure measurements. Although the veins

and arteries in the ear can be used for catheters and blood collection, vigorous venipuncture can cause vasculitis, vascular necrosis and skin breakdown (Sohn and Couto 2012, Morris and Bevan 1984).

II. MATERIALS AND METHOD

The permission for this study was obtained from Kafkas University Animal Experiments Local Ethics Committee (KAÜ-HADYEK). Our study was approved with the code KAÜ-HADYEK/2021-068.

The materials (Figure 1) obtained from Atatürk University Medical Experimental Application and Research Center, which has an official certificate for the production and sale of experimental animals, were brought to the laboratory of the Department of Anatomy, Faculty of Veterinary Medicine, Kafkas University and the study was carried out here. The study was carried out on 10 male rabbits, 7 months old, with an average weight of 2862.10 ± 73.90 g. Two of the rabbits were injected with latex to identify the arteries. Eight rabbits were used for morphologic and macroanatomic findings.



Fig. 1 Research material

The animal materials were anesthetized intramuscularly (i.m.) with a combination of 5 mg Xylazin HCL (rompun) and 35 mg Ketamine (Ketalar) (Holmes 1988). The materials were brought to Kafkas University, Faculty of Veterinary Medicine, Department of Anatomy Laboratory where the procedures were performed. While the euthanized animals were under anesthesia, the arteria carotis communis was dissected and the rabbits were euthanized. The dissection process was started by taking into account the practices in Mukhopadhyay and Wagner (2023) and Perpiñán (2019). Latex was applied on two dissected rabbit ears to expose the arteries. Latex (ZPK-580-S; Gerard Biological Center, Preston UK) colored with red fabric dye (Artdeco) was dissected from the neck and injected and all vessels were filled with this mixture (Bugge 1963, Erençin et al., 1967, Aycan and Bilge 1984). After the arteria carotis communis was ligated sinistra with dextra, the materials were kept at room temperature for 24 hours to freeze the latex. After the latex was frozen, the materials were preserved in 10% formaldehyde solution for one week. After it was determined that all formations had absorbed formaldehyde, dissection of the materials was performed. The other eight rabbits were fixed in formaldehyde after euthanasia. The lengths of the ears were measured and macroanatomical findings were taken. *Nomina Anatomica Veterinaria* (N.A.V. 2017) was used for the nomenclature of Latin scientific anatomical terms in the text.

The main vessels of the New Zealand rabbit ear were located between the central layer of cartilage and the dorsal skin. The large vessels were covered by the capillary beds of the dorsal and ventral skin. The outer ear was supplied by two large arteries. These were confirmed to be the central ear artery (also called the posterior auricular artery) and the medial artery (anterior auricular artery). These confirmed vessels anastomosed near the tip of the ear. The central ear artery (CEA) was found to give off many lateral arterial branches. The largest of these lateral arteries was the main side branch, the so-called MSB. The CEA also anastomosed with the MSB via the lateral arteries. The lateral view of the New Zealand rabbit ear arteries is shown in Figure 2 and the medial view is shown in Figure 3.



Fig. 2 Lateral view of New Zealand rabbit ear arteries



Fig. 3 Medial view of New Zealand rabbit ear arteries

Three main vessels were evident in the ear: the medial vessel (anterior ear vessel), the central ear vessel (CEV, posterior ear vessel) and the lateral vessel. The two branches of the central ear vein (CEV), the large medial ramus and the smaller central ramus, were seen to make a prominent junction near the base of the ear. In general, the vessels are located just dorsal to the corresponding arterial branches.

III. CONCLUSION

Blood sampling from the ear artery is an important procedure for various experimental studies (Baby et al. 2017). In the context of its importance in this procedure, the data obtained from the present study are important. It is thought that the findings obtained will contribute to scientific research on the circulatory system in laboratory animals and other animal species and ear operations (Taghreed et al., 2022).

REFERENCES

- [1] Anonim 1: http://www.tarimkutuphanesi.com/tavsan_yetistiriciligi__00123.html Access date: 04.05.2022
- [2] Anonim 2: <https://smallpetsselect.com/rabbit-anatomy-ears-to-floof-poof/> Access date: 01.08.2024
- [3] Brewer, N.R., & Cruise, L.J. (1994). Physiology. In: Manning, P.J., Ringler, D.H., Newcomer, C.E. (Eds.), The Biology of the Laboratory Rabbit. Academic Press, San Diego.
- [4] Brewer, NR. (2006). Historical Special Topic Overview on Rabbit Comparative Biology; Biology of the Rabbit. American Association for Laboratory Animal Science, 45 (1), PP 8-24.

- [5] Gordon, D.B., Flasher, J., & Drury, D.R. (1953). Size of the largest arteriovenous vessels in various organs. *American Journal of Physiology*, 173 (2), 275–281.
- [6] Ninomiya, H. (2000). The vascular bed in the rabbit ear: microangiography and scanning electron microscopy of the vascular corrosion casts. *Anatomia Histologia Embryologia*, 29, 301–305.
- [7] Sohn, J., Couto, M.A. (2012). *Anatomy, Physiology, and Behavior. The Laboratory Rabbit, Guinea Pig, Hamster, and Other Rodents*, Chapter 8, Elsevier, pp 196.
- [8] Morris, J.L., & Bevan, R.D. (1984). Development of the vascular bed in the rabbit ear: scanning electron microscopy of vascular corrosion casts. *The American Journal of Anatomy*, 171~75-89.
- [9] Holmes, D.D. (1988). *Clinical Laboratory Animal Medicine*. Iowa: the Iowa State University Press, p:100-115.
- [10] Mukhopadhyay, S., Wagner, L.R. (2023). *Rabbit Anatomy: A Brief Photographic Atlas and Dissection Guide- Part II: Cardiovascular System* (Third Edition).
- [11] Perpiñán, D. (2019). Rabbit neutering. *Companion animal* | Volume 24 No 04, April.
- [12] Bugge, J. (1963). A standardised plastic injection technique for anatomical purposes, *Acta Anatomica*, 51, 177-192.
- [13] Erençin, Z., Hassa, O., Sağlam, M., & Evren, A. (1967). Enjeksiyon yolu ile damar ve kanal sistemleri için plastik demonstrasyon metodlarının geliştirilmesi. *Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 14(3): 444-452.
- [14] Aycan, K., & Bilge, A. (1984). Plastik enjeksiyon ve korozyon metodu ile vaskuler sistemin anatomisinin araştırılması. *Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi Dergisi*, 6(4); 545-552.
- [15] N.A.V. (2017). *International Committee on Veterinary Gross Anatomical Nomenclature. Nomina Anatomica Veterinaria (NAV)*. 6th ed., World Association of Veterinary Anatomists, Hanover (Germany), Ghent (Belgium), Columbia, MO (U.S.A.), Rio de Janeiro (Brazil).
- [16] Baby, P.M., Jacob, S.S., Kumar, R., & Kumard, P. (2017). An innovative approach for serial injection in marginal vein and blood collection from auricular artery in New Zealand white Rabbit. *MethodsX* 4, 457–460.
- [17] Taghreed, A.H., Mohamed, A.M., Amr, F.E.K., Zainab, S.O., Ahmed, Marwa, A.I, Hamdy, R., & Ayman, T. (2022). Regenerative therapy of Rabbit ear cartilage using adipose derived stem cells and platelet rich fibrin. *Veterinary Medical Journal* (Giza), 68: 64 – 79.

Integrated Modeling of a Geothermal-Substrate Greenhouse Heating System in Aydın

Abdullah Aracı*, Coşkun Deniz²

¹Graduate School of Natural and Applied Sciences, Aydın Adnan Menderes University, Türkiye

²Electrical-Electronics Engineering Faculty of Engineering, Aydın Adnan Menderes University, Türkiye

2012200102@stu.adu.edu.tr

Abstract – The present study highlights the comprehensive design and simulation of a geothermal heating system for a substrate-based greenhouse situated at QFARM in Aydın, Turkey. This study assesses the thermal efficiency and economic viability of a geothermal heating alternative using Python-based thermal modeling, actual greenhouse characteristics, and field data. The system is designed to replicate internal temperature fluctuations during winter, considering the physical structure of the greenhouse and the thermal conductivity of the substrate. Simulation results indicate that geothermal heating significantly reduces fuel consumption compared to conventional systems, while maintaining optimal interior conditions for plant growth and development. Comparative literature validates the benefits of renewable-based greenhouse heating in terms of cost-effectiveness, sustainability, and long-term return on investment. This study offers a practical example of implementing energy modeling and sustainable technologies in contemporary agriculture, facilitating the transition to smart farming in Türkiye.

Keywords – Geothermal Heating, Greenhouse, Substrate Agriculture, Thermal Modeling, Python, Energy Efficiency, QFARM, Türkiye.

I. INTRODUCTION

Controlled-environment agriculture has emerged as a crucial component of modern food production systems, particularly in regions with unfavorable seasonal temperatures. Greenhouses heated by traditional fossil fuels incur substantial operational expenses and environmental impacts. Geothermal energy offers a cost-effective, renewable, and site-specific heating solution, particularly in geothermally active areas such as Aydın, Turkey. Kendirli and Çakmak [1] assert that geothermal energy can diminish heating expenses by as much as 70% relative to fossil fuel-based systems. Baytorun et al. [2] similarly demonstrated that annual running costs in geothermally heated greenhouses are significantly lower, accompanied by reduced CO₂ emissions and accelerated payback times.

In addition to the energy source, substrate-based greenhouse cultivation has gained popularity due to its benefits in water and fertilizer management. Coco-peat (coconut fiber) substrates are valued for their significant porosity and heat-buffering ability [3]. The use of agricultural-industrial composts and alternative substrates is becoming increasingly prevalent in sustainable horticultural practices.

Advanced thermal models provide an assessment of the interplay between energy input, greenhouse design, substrate behavior, and environmental variables. Lebre et al. [4] employed EnergyPlus and DesignBuilder to model internal temperatures under different ventilation and insulation scenarios. Xiao et al. [5] developed a model for an Earth-Air Heat Exchanger (EAHE) to improve climate regulation during frigid winters. These methodologies demonstrate the importance of modeling instruments in optimizing energy systems.

This study integrates these components in a practical application: the geothermal heating system developed for the QFARM greenhouse in Aydın. A Python-based model was employed to simulate the heating efficiency of the system under specific climatic conditions. The objective is to evaluate the thermal performance and economic feasibility of merging engineering design with renewable energy and substrate cultivation.

II. MATERIALS AND METHOD

The research was conducted at the QFARM pilot plant in the Efeler district of Aydın Province, Türkiye, a region with considerable geothermal potential. The greenhouse is a substrate-based, contemporary edifice featuring polycarbonate cladding, aligned east-west to optimize solar gain. The greenhouse measures roughly 48 meters in length, 8 meters in breadth, and 4 meters in height. Internal farming utilizes coco-peat growbags positioned on raised channels equipped with integrated drip irrigation and drainage systems.

The geothermal heating system was engineered to circulate low-enthalpy geothermal water (approximately 60°C) through polyethylene pipes situated beneath the grow bag channels adjacent to the root zone. The flow rate, pipe diameter, insulation, and system head loss were computed according to engineering design standards. The heating system consisted of a circulation pump, control valves, and a heat exchanger for regulating distribution.

A modular Python model was created to mimic the thermal dynamics of the greenhouse. The model comprises:

- ✓ Equations for energy balance at the interface of air volume and substrate
- ✓ Utilization of meteorological data for solar radiation input
- ✓ Thermal losses via walls, roof, and foundation
- ✓ Internal thermal contributions from the substrate and latent heat from irrigation

The fundamental algorithm employs a time-stepped finite difference method to model hourly fluctuations in interior air temperature. Essential characteristics encompass substrate thermal conductivity (0.1–0.12 W/m·K), greenhouse U-values (1.8 W/m²·K), and ambient temperature ranges (2–15°C). Simulations were conducted for a representative winter month (January).

The economic viability of the system was evaluated by estimates of Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), and Payback Period. The model comprises:

- ✓ Capital expenditure (pipes, pumps, exchangers, manpower)
- ✓ Yearly maintenance and operational expenses
- ✓ Comparison of Fuel Costs: Coal versus Geothermal

All economic data were derived using 2024 Turkish market rates and currencies, with a presumed discount rate of 10%.

The following Python libraries were used:

- ✓ pandas and numpy for data processing
- ✓ matplotlib for optional visualization
- ✓ scipy.integrate for numerical solutions of differential equations

III. RESULTS

A. Heating Performance under Winter Conditions.

The thermal simulation model indicated that the geothermal heating system successfully sustained internal air temperatures within the ideal range for plant growth during the winter season. The simulated daily temperature cycle in January indicated nocturnal temperatures ranging from 16.2°C to 20.1°C, despite

the ambient air temperature falling to 2.8°C. Daytime greenhouse temperatures, enhanced by solar radiation, averaged 24.6°C, hence diminishing the active heating demand during peak sunlight hours.

Substrate-level temperatures exhibited reduced variability relative to ambient or internal air, consistently ranging from 18.3°C to 22.0°C over the 24 hours. This validates the buffering potential of Coco-peat growbags, as they mitigate thermal stress on root systems and promote stable microclimatic conditions.

B. System Energy Demand and Efficiency Analysis

The geothermal system's daily energy usage was determined to be 85.4 kWh, encompassing the cumulative load of pumps and heat exchangers necessary to provide consistent root and air temperatures throughout the 384 m² greenhouse. In contrast, a traditional coal-fired heating system for the equivalent greenhouse volume and insulation would require approximately 378.2 kWh/day to achieve comparable thermal performance, as determined by degree-day-based heat loss calculations and combustion efficiency assumptions (Table 1).

This results in a 77.4% decrease in energy demand when employing geothermal heat, primarily due to the superior thermal efficiency and heat exchange capacity of direct-use geothermal fluids.

Table 1. Comparative Daily Energy Use and Cost Analysis

Parameter	Geothermal System	Coal-Based System
Daily Energy Use (kWh)	85.4	378.2
Daily Fuel Cost (₺)	148	344
Daily CO ₂ Emissions (kg)	0	312
Thermal Efficiency (%)	82.6	58.1
Effective Heating Coverage	Full	Full

C. Economic Performance Indicators

A financial model was constructed utilizing 2024 market rates for energy, system installation, and maintenance. The capital expenditure for the geothermal heating infrastructure, encompassing pipes, a circulation pump, installation, and control apparatus, was determined to be ₺430,000. The annual maintenance and electricity expenses were projected to be ₺27,000.

In comparison to coal heating (initial investment: ₺180,000, annual fuel and maintenance costs: ₺95,000), the geothermal system has a lengthier payback time but yields significant savings over a decade. The following economic indicators (Table 2) have been acquired:

Table 2. Economic Comparison of Heating Systems

Indicator	Geothermal System	Coal-Based System
Initial Investment (₺)	430,000	180,000
Annual Operating Cost (₺)	27,000	95,000
Net Present Value (₺)	215,000	42,000
Internal Rate of Return (%)	17.3	9.1
Payback Period (years)	4.2	2.1
Lifetime CO ₂ Savings (tons)	~87.3	—

IV. DISCUSSION

The simulation results validate that geothermal heating systems present a feasible and energy-efficient option for greenhouse applications in areas such as Aydın, Türkiye, where low-enthalpy geothermal resources are plentiful. The technology maintained ideal temperature conditions for plant growth, with markedly reduced energy consumption compared to fossil-fuel options. This corresponds with the findings of Bakos et al. [6], who noted consistent internal temperatures achieved using geothermal heating in greenhouses located in northern Greece.

The utilization of coco-peat substrate facilitated the preservation of thermal stability in the root zone, serving as a thermal buffer that diminished the system's heating demand [7]. Alkaç and Güneş [3] assert

that coconut-based growing media provide advantageous water retention and thermal insulation properties, hence improving microclimate regulation, particularly in variable external conditions.

Compared to traditional heating methods, the geothermal system employed in this study decreased energy usage by more than 75% and eliminated CO₂ emissions during operation. This corroborates prior studies by Kendirli and Çakmak [1] and Baytorun et al. [2], which revealed that geothermal greenhouse heating substantially reduces operational costs and environmental effects.

The geothermal system necessitated a greater initial expenditure yet attained a superior Net Present Value (₺215,000) and Internal Rate of Return (17.3%) relative to the coal-based system. The data align with the research conducted by Kondili and Kaldellis [8], which indicated that combined geothermal-solar systems on Lesbos, Greece, provided rapid payback periods (1–1.5 years), high system efficiency, and negligible CO₂ emissions.

The incorporation of Python-based modular thermal simulation facilitated the assessment of dynamic temperature responses and substrate interactions. Numerical modeling techniques, as illustrated by Lebre et al. [4] and Xiao et al. [5], are crucial for comprehending greenhouse thermal performance under diverse environmental and structural situations. Furthermore, including simulation results in design decision-making is consistent with contemporary precision agricultural methodologies, as emphasized by Goo et al. [9] in their multi-variable optimization strategy for innovative greenhouse cooling systems.

The approach and outcomes of this study contribute to the existing body of knowledge supporting the implementation of renewable energy systems in the agricultural sector. The adoption of geothermal heating enhances environmental sustainability and aligns with Türkiye's strategic objectives in agricultural innovation and energy transition.

V. CONCLUSION

This study demonstrates the technical and economic feasibility of integrating geothermal heating systems into substrate-based greenhouse agriculture in geothermal-abundant regions, such as Aydın, Türkiye. The Python-based thermal simulation model demonstrated that internal air and substrate temperatures could be sustained within ideal ranges (16–28°C) while utilizing considerably less energy than traditional coal-based systems. The coco-peat substrate enhanced thermal stability in the root zone, significantly diminishing energy requirements.

Despite necessitating a higher initial investment, the geothermal system provided superior long-term value, evidenced by a Net Present Value (NPV) of ₺215,000 and an Internal Rate of Return (IRR) of 17.3%, indicating its viability for medium-scale greenhouses. The technology yielded significant environmental advantages, encompassing the total eradication of operating CO₂ emissions and a 77% decrease in energy use.

This research demonstrates that geothermal heating, when combined with high-performance substrates and advanced design modeling, offers a sustainable and economical alternative for greenhouse heating. It provides a firm foundation for decision-makers and growers seeking to upgrade agricultural practices in support of Türkiye's green transformation goals.

ACKNOWLEDGMENT

The heading of the Acknowledgment section and the References section must not be numbered.

REFERENCES

- [1] Kendirli, B., & Çakmak, B. (2010). Yenilenebilir enerji kaynaklarının sera ısıtmasında kullanımı. Ankara Üniversitesi Çevrebilimleri Dergisi, 2(1), 95–103.
- [2] Baytorun, A. N., Önder, D., & Güğercin, Ö. (2016). Seraların ısıtılmasında kullanılan fosil ve jeotermal enerji kaynaklarının karşılaştırılması. Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology, 4(10), 832–839.
- [3] Alkaç, O. S., & Güneş, M. (2024). Tarımsal endüstriyel atıklardan üretilen kompostun zambak yetiştiriciliğinde alternatif olarak kullanım olanakları. Akademik Ziraat Dergisi, 13(2), 260–271.

- [4] Lebre, R., Canavarro, D., Silva, H. E., Silva, P. D., & Gomes, M. G. (2021). A computational model to simulate the thermal behavior of a greenhouse using DesignBuilder. *Journal of Building Engineering*, 44, 103208.
- [5] Xiao, L., Wei, H., Wang, C., Xu, C., Zhang, Y., & Tian, Z. (2023). Performance analysis of earth-air heat exchanger in hot summer and cold winter zone of China. *Applied Thermal Engineering*, 221, 119849.
- [6] Bakos, G. C., Fidanidis, D., & Tsagas, N. F. (1999). Greenhouse heating using geothermal energy. *Geothermics*, 28(6), 759–765.
- [7] Wu, T., Wang, X., & Inada, T. (2025). Research on hydroponic cultivation substrates made from rice straw. *Sustainability*, 17(2), 772.
- [8] Kondili, E., & Kaldellis, J. K. (2006). Optimal design of geothermal-solar greenhouses for the minimisation of fossil fuel consumption. *Applied Thermal Engineering*, 26(8–9), 905–915.
- [9] Goo, S., Lim, J., Kwon, J. K., Um, Y. C., Choi, K. Y., Kim, D., & Lee, J. W. (2024). Energy simulation-based assessment tool for the applicability and performance of cooling packages in smart greenhouses. *Computers and Electronics in Agriculture*, 216, 108475.

Modulators of neuroplasticity and Epigenetics

Orjon Rroji*

¹*Imaging and Radiology Department, European University of Tirana, Albania*

**(orjon.rroji@uet.edu.al) Email of the corresponding author*

Abstract – The aim of this review is to explain some of the environmental epigenetic factors and their role as a possible therapeutic approach. Epigenetic changes can be influenced by environment, lifestyle, stress, diet, toxins, and even experiences. Neuroplasticity can be improved also by non-invasive brain stimulation techniques, such as transcranial Direct Current Stimulation (tDCS), which increases hippocampal long-term potentiation and memory via chromatin remodeling of BDNF. Transcranial Magnetic Stimulation (TMS) regulates gene expression by neural oscillations and neural firing in vivo. The combination of these techniques with behavioral motor task has been proven to be very beneficial and helpful for the stroke patients. Robotic device technology can maximize afferent input from peripheral joints providing task specific stimulation promoting functional recovery, e.g, patients who went robot-assisted arm training improved more, suggesting that robotic rehabilitation is a powerful and promising tool for ischemic stroke patients. The robot-assisted training, by itself or in combination with a non-invasive brain stimulation technique will be a powerful epigenetic therapeutic approach, improving the patients' performance and motor training.

Keywords – Epigenetic, Non-Invasive Brain Stimulation Techniques, TMS, Tdcs, Robotics, Neuroplasticity.

I. INTRODUCTION

Neuroplasticity in healthy brain

Neuroplasticity refers to the brain's remarkable ability to adapt and change in response to experiences, environmental influences, and physiological factors such as injury (1,2). Once believed to be a static organ, the brain is now recognized as continuously plastic throughout life (1). A key mechanism underlying neuroplasticity is long-term potentiation (LTP), an activity-dependent strengthening of synaptic connections (3). In humans, LTP-like processes can be triggered by repetitive motor practice, leading to neural changes known as use-dependent plasticity.

Motor training promotes motor learning in both healthy and injured brains, driving plastic changes in the central nervous system (4,5). These changes can occur throughout the nervous system, but the extent and location depend largely on the specific task being practiced. Notably, there is growing agreement that the primary motor cortex (M1), essential for executing motor commands, is significantly shaped by various forms of motor training.

In the human motor cortex, practice results in the encoding of specific movements (6). Encoding, which takes place during the practice phase, is crucial for forming motor memories (7). During this process, learners integrate information about task goals and movement outcomes (8). After encoding, motor skills enter a consolidation phase, which helps preserve these new abilities over time (9). Skill retention is

typically evaluated under conditions similar to those during initial practice (10), and many factors can influence the durability of these learned skills.

Modulators of neuroplasticity: Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS)

Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) is a non-invasive brain stimulation method that delivers a constant, low-intensity electrical current to targeted brain regions through electrodes placed on the scalp (11–13). This technique has been shown to be safe for use in both animals and humans.

Groundbreaking work by Priori and colleagues (14), followed by others, demonstrated that tDCS can be effectively applied to cortical areas (15). Unlike other plasticity-inducing approaches, such as repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS), tDCS does not directly trigger neuronal action potentials. This is because the static electric fields it generates do not cause the rapid depolarization necessary for initiating action potentials in neural membranes (16). Instead, tDCS modulates ongoing neuronal network activity by delivering weak direct currents through an anodal and a cathodal electrode (16). When current flows from the active electrode to the reference electrode, the stimulation is termed anodal; conversely, when current flows from the reference electrode to the active electrode, it is called cathodal stimulation. Rather than inducing immediate neuronal firing, tDCS influences the excitability and activity of neuronal networks.



Figure 1 shows a Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) device. Image is taken from Newronika Company webpage.

Transcranial Direct Current Stimulation in stroke patients

The encouraging outcomes achieved using non-invasive brain stimulation techniques in healthy individuals have been successfully translated to patients with neurological conditions, such as stroke. Prior studies have indicated that motor learning represents a fundamental mechanism underlying neurorehabilitation (17), highlighting the potential of anodal transcranial direct current stimulation (tDCS) as a promising adjunct to rehabilitation training.

In both subacute (18–21) and chronic stroke populations (22–24) a variety of motor tasks (e.g., finger sequence learning, grasping tests) and functional assessments (e.g., Box and Block Test, Jebsen-Taylor Hand Function Test, Wolf Motor Function Test, Fugl-Meyer Assessment) have been conducted in conjunction with tDCS.

These behavioral studies have consistently demonstrated that tDCS can enhance motor function when anodal stimulation is applied over the ipsilesional primary motor cortex (M1) — with the anode placed over M1 of the affected hemisphere and the cathode positioned over the contralateral supraorbital region (24,25). Furthermore, improvements have also been observed using dual-tDCS protocols, in which anodal

stimulation is applied to the ipsilesional M1 and simultaneous cathodal stimulation is applied to the contralesional M1 (26,27).

Modulators of neuroplasticity: Transcranial Magnetic Stimulation (TMS)

Transcranial Magnetic Stimulation (TMS) is a non-invasive, safe, and painless technique for stimulating the human motor cortex (28). This method operates on the principle of electromagnetic induction: a brief electrical current is delivered through a coil positioned on the scalp, generating a rapidly fluctuating magnetic field capable of penetrating the skull. This magnetic field induces an electric current in the underlying cortical tissue, which, depending on the intensity of stimulation, can depolarize neurons and elicit action potentials (29). Various coil designs have been developed for TMS applications; however, the figure-of-eight coil is most commonly employed due to its capacity for focal stimulation. When stimulating the hand area of the motor cortex, the coil is placed tangentially to the scalp with its handle oriented posteriorly at a 45° angle from the mid-sagittal line. This configuration has been identified as optimal for activating corticospinal pathways (30,31). TMS is frequently utilized to assess the integrity of corticospinal pathways and to evaluate neurological impairments in conditions such as stroke (32). Focal stimulation of the primary motor cortex (M1) using TMS generates motor evoked potentials (MEPs) in target muscles, with MEP amplitude serving as an index of corticomotor excitability (33). Use-dependent plasticity in humans leads to reorganization within M1. For instance, during intensive limb use — as in repetitive motor training — synaptic efficacy is enhanced, which is reflected by an increase in corticomotor excitability, evidenced by larger MEPs following training compared to baseline (6,34,35). This enhancement of excitability is likely attributable to the activation of long-term potentiation (LTP)-like mechanisms induced by training (36,37).

Robotic exoskeleton

An exoskeleton is a wearable system engineered to augment, support, assist, or enhance movement, posture, or physical activity through mechanical interaction with the user's body and the application of external forces. Exoskeletons are conceptually related to orthoses, which provide structural support to injured body parts such as the hands, arms, feet, or legs. However, unlike orthoses, exoskeletons are designed to actively assist or enhance the function of existing biological structures (38). If it is properly used, the exoskeleton can help in performance improvement, reduce risk of injury, effective adaptation, successful implementation and can help in boosting patient's morale (38). The electromechanical robotic exoskeleton can be designed in-house to fit for the rehabilitation for upper limb therapy. In fact, an improvement in motor outcomes and cortical excitability has been noticed in stroke patients using robotic exoskeleton therapy (39).

Epigenetics and non-invasive brain stimulation techniques

Studies utilizing non-invasive brain stimulation techniques have demonstrated their potential to improve impaired neuroplasticity by enhancing hippocampal long-term potentiation (LTP), as well as learning and memory functions. For example, Podda et al., (2016) (40), showed that anodal transcranial direct current stimulation (tDCS) increased hippocampal LTP and memory performance through chromatin remodeling of brain-derived neurotrophic factor (BDNF) regulatory sequences, ultimately promoting BDNF gene expression. Their study aimed to elucidate the molecular mechanisms underlying the long-lasting effects of tDCS on hippocampal plasticity, given BDNF's pivotal role in neuroplasticity (41). Behavioral assessments, including novel object recognition and Morris's water maze tasks, revealed enhanced LTP in hippocampal slices and improved performance in tDCS-treated mice. Remarkably, these enhancements in spatial and recognition memory were evident within hours after stimulation and persisted for up to one week (40).

The hippocampus, known to play a crucial role in learning, undergoes age-related alterations that reduce learning capacity (42). Silhol et al., (2007) (43) investigated baseline levels and task-induced changes in BDNF in young (2 months old) and aged (24 months old) Wistar rats using a water maze to assess spatial memory. Training resulted in improved spatial memory alongside increased levels of BDNF and TrkB receptor isoforms in the hippocampus. Similarly, Fritsch et al., (2011) (44) demonstrated that direct current stimulation in mouse primary motor cortex (M1) slices induced long-lasting synaptic potentiation and enhanced motor learning. Notably, these enhancements were more pronounced in individuals homozygous for the BDNF Val/Val genotype compared to Met/Met carriers, underscoring BDNF's importance in mediating tDCS-related memory and learning benefits.

Transcranial magnetic stimulation (TMS), another non-invasive brain stimulation technique, has provided evidence that gene expression can be modulated by neural oscillations and neuronal firing *in vivo* (45). Ljubisavljevic et al., (2015) (46) examined gene expression changes in rat cortices following acute ischemic-reperfusion brain injury induced via middle cerebral artery occlusion (MCAO), combined with various repetitive TMS (rTMS) protocols. Stimulation was administered for two weeks, and intermittent theta-burst stimulation (iTBS) significantly upregulated 52 genes involved in angiogenesis, inflammation, injury response, cellular repair, structural remodeling, neuroprotection, neurotransmission, and neuronal plasticity, whereas 1 Hz and 5 Hz protocols did not elicit significant effects. These findings suggest that rTMS can modulate gene expression (46).

Supporting evidence comes from Aydin-Abidin et al., (2008) (47), who explored the effects of different rTMS protocols (1 Hz to 10 Hz and intermittent theta-burst stimulation) on the expression of immediate early gene (IEG) proteins c-Fos and zif268 in the rat brain. Both genes are critical for synaptic plasticity, and their expression was modulated depending on the rTMS stimulation pattern. Overall, these results suggest that cortical network excitability can be influenced by rTMS, with low-frequency TMS typically reducing cortical excitability and high-frequency TMS enhancing network activity (47).

In addition to brain stimulation, robotic technologies such as exoskeletons offer non-invasive stimulation and can maximize afferent input from peripheral joints, providing task-specific stimulation that supports functional recovery (48). A review by Mehrholz et al., (2018) (49) demonstrated that robotic devices, when combined with physiotherapy, improve lower limb recovery in post-stroke patients. Similar benefits have been observed in upper limb rehabilitation for hemiplegic stroke patients. Assessments using the Fugl-Meyer scale for motor control, the Modified Ashworth Scale for spasticity, and the Functional Independence Measure for disability indicated that robotic-assisted arm training resulted in greater improvements compared to conventional training methods (48,50). Furthermore, although the improvements in motor control were modest, they hold promise for future clinical applications (51). Thus, robotic-assisted training emerges as a promising approach for stroke rehabilitation.

II. CONCLUSION

Daily exercise enhances cognitive abilities, and memory improvements associated with neurogenesis have been linked to synaptic plasticity, underscoring its crucial role. Learning and memory can be facilitated not only through physical activity but also via non-invasive brain stimulation techniques, such as transcranial direct current stimulation (tDCS) and transcranial magnetic stimulation (TMS). The integration of tDCS and TMS with behavioral motor tasks has been shown to ameliorate impaired neuroplasticity by enhancing hippocampal long-term potentiation, learning, and memory. These non-invasive brain stimulation approaches hold significant promise for promoting motor recovery by modulating neuronal plasticity in stroke patients.

Moreover, robotic-assisted training offers a powerful and effective means of delivering task-oriented motor rehabilitation, enabling patients to improve functional performance. We propose that robot-assisted training, either alone or in combination with non-invasive brain stimulation techniques, represents a

promising epigenetic therapeutic strategy to enhance motor training outcomes and overall patient performance.

REFERENCES

1. Pascual-Leone A, Amedi A, Fregni F, Merabet LB. The plastic human brain cortex. *Annu Rev Neurosci*. 2005;28:377–401.
2. Sharma N, Cohen LG. Recovery of motor function after stroke. *Dev Psychobiol*. 2012;54:254–62.
3. Bliss T V, Collingridge GL. A synaptic model of memory: long-term potentiation in the hippocampus. *Nature*. 1993;361:31–9.
4. Dayan E, Cohen LG. Neuroplasticity subserving motor skill learning. *Neuron* [Internet]. 2011;72(3):443–54. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuron.2011.10.008>
5. Zeiler SR and Krakauer JW. The interaction between training and plasticity in the post-stroke brain. *Changes*. 2012;29(6):997–1003.
6. Classen J, Liepert J, Wise SP, Hallett M, Cohen LG. Rapid plasticity of human cortical movement representation induced by practice. *J Neurophysiol*. 1998;79:1117–23.
7. Bütefisch CM, Khurana V, Kopylev L, Cohen LG. Enhancing encoding of a motor memory in the primary motor cortex by cortical stimulation. *J Neurophysiol*. 2004;91:2110–6.
8. Robertson EM. From creation to consolidation: A novel framework for memory processing. *PLoS Biol*. 2009;7(1).
9. Romano JC, Howard JH, Howard D V. One-year retention of general and sequence-specific skills in a probabilistic, serial reaction time task. *Memory*. 2010;18(4):427–41.
10. Kantak SS, Winstein CJ. Learning-performance distinction and memory processes for motor skills: A focused review and perspective. *Behav Brain Res* [Internet]. 2012;228(1):219–31. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.bbr.2011.11.028>
11. Bindman LJ, Lippold OC, Redfearn JW. the Action of Brief Polarizing Currents on the Cerebral Cortex of the Rat (1) During Current Flow and (2) in the Production of Long-Lasting After-Effects. *J Physiol*. 1964;172:369–82.
12. Landau WM, Bishop GH, Clare MH. Analysis of the Form and Distribution of Evoked Cortical Potentials Under the Influence of Polarizing Currents. *J Neurophysiol*. 1964;27(03):788–813.
13. Nitsche M a, Paulus W. Excitability changes induced in the human motor cortex by weak transcranial direct current stimulation. *J Physiol*. 2000;527 Pt 3:633–9.
14. Priori a, Berardelli a, Rona S, Accornero N, Manfredi M. Polarization of the human motor cortex through the scalp. Vol. 9, *Neuroreport*. 1998. p. 2257–60.
15. Paulus W. Transcranial direct current stimulation (tDCS). Vol. 56. 2003. p. 249–54.
16. Nitsche M a., Cohen LG, Wassermann EM, Priori A, Lang N, Antal A, et al. Transcranial direct current stimulation: State of the art 2008. *Brain Stimul*. 2008;1:206–23.
17. Krakauer JW. Motor learning: its relevance to stroke recovery and neurorehabilitation. *Curr Opin Neurol* [Internet]. 2006;19(1):84–90. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16415682>
18. Hesse S, Werner C, Schonhardt EM, Bardeleben A, Jenrich W, Kirker SGB. Combined transcranial direct current stimulation and robot-assisted arm training in subacute stroke patients: An Exploratory, Randomized Multicenter Trial. *Restor Neurol Neurosci*. 2011;25(1):9–15.
19. Kim DY, Ohn SH, Yang EJ, Park C-I, Jung KJ. Enhancing motor performance by anodal transcranial direct current stimulation in subacute stroke patients. *Am J Phys Med Rehabil*. 2009;88:829–36.
20. Lee SJ, Chun MH. Combination transcranial direct current stimulation and virtual reality therapy for upper extremity training in patients with subacute stroke. *Arch Phys Med Rehabil* [Internet]. 2014;95(3):431–8. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apmr.2013.10.027>
21. Rossi C, Sallustio F, Di Legge S, Stanzone P, Koch G. Transcranial direct current stimulation of the affected hemisphere does not accelerate recovery of acute stroke patients. *Eur J Neurol* [Internet]. 2013;20:202–4. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22448901>
22. Brunoni AR, Nitsche M a., Bolognini N, Bikson M, Wagner T, Merabet L, et al. Clinical research with transcranial direct current stimulation (tDCS): Challenges and future directions. *Brain Stimul* [Internet]. 2012;5(3):175–95. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.brs.2011.03.002>
23. Gandiga PC, Hummel FC, Cohen LG. Transcranial DC stimulation (tDCS): A tool for double-blind sham-controlled clinical studies in brain stimulation. *Clin Neurophysiol*. 2006;117:845–50.
24. Fregni F, Boggio PS, Nitsche M, Bermpohl F, Antal A, Feredoes E, et al. Anodal transcranial direct current stimulation of prefrontal cortex enhances working memory. *Exp Brain Res*. 2005;166:23–30.
25. Hummel F, Celnik P, Giraux P, Floel A, Wu WH, Gerloff C, et al. Effects of non-invasive cortical stimulation on skilled motor function in chronic stroke. *Brain*. 2005;128:490–9.
26. Fregni F, Boggio PS, Mansur CG, Wagner T, Ferreira MJL, Lima MC, et al. Transcranial direct current stimulation of the unaffected hemisphere in stroke patients. *Neuroreport*. 2005;16(14):1551–5.
27. Lindenberg R, Renga V, Zhu LL, Nair D, Schlaug G. Bihemispheric brain stimulation facilitates motor recovery in chronic stroke patients. *Neurology*. 2010;75(24):2176–84.

28. Barker a T, Jalinous R, Freeston IL. Non-invasive magnetic stimulation of human motor cortex. *Lancet*. 1985;1(8437):1106–7.
29. Kobayashi M, Pascual-Leone A. Transcranial magnetic stimulation in neurology. *Lancet Neurol*. 2003;2:145–56.
30. Di Lazzaro V, Oliviero a., Pilato F, Saturno E, Dileone M, Mazzone P, et al. The physiological basis of transcranial motor cortex stimulation in conscious humans. *Clin Neurophysiol*. 2004;115(2):255–66.
31. Rossini PM, Barker AT, Berardelli A, Caramia MD, Caruso G, Cracco RQ, et al. Non-invasive electrical and magnetic stimulation of the brain, spinal cord and roots: basic principles and procedures for routine clinical application. Report of an IFCN committee. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* [Internet]. 1994 Aug [cited 2015 Feb 18];91(2):79–92. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0013469494900299>
32. Groppa S, Oliviero a., Eisen a., Quartarone a., Cohen LG, Mall V, et al. A practical guide to diagnostic transcranial magnetic stimulation: Report of an IFCN committee. *Clin Neurophysiol* [Internet]. 2012;123(5):858–82. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.clinph.2012.01.010>
33. Stinear C. Prediction of recovery of motor function after stroke. *Lancet Neurol* [Internet]. 2010;9(12):1228–32. Available from: [http://dx.doi.org/10.1016/S1474-4422\(10\)70247-7](http://dx.doi.org/10.1016/S1474-4422(10)70247-7)
34. Muellbacher W, Ziemann U, Boroojerdi B, Cohen L, Hallett M. Role of the human motor cortex in rapid motor learning. *Exp Brain Res*. 2001;136(4):431–8.
35. Rosenkranz K, Kacar A, Rothwell JC. Differential modulation of motor cortical plasticity and excitability in early and late phases of human motor learning. *J Neurosci*. 2007;27(44):12058–66.
36. Bütefisch CM, Davis BC, Wise SP, Sawaki L, Kopylev L, Classen J, et al. Mechanisms of use-dependent plasticity in the human motor cortex. *Proc Natl Acad Sci U S A* [Internet]. 2000;97(7):3661–5. Available from: <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=16296&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>
37. Stefan K, Wycislo M, Gentner R, Schramm A, Naumann M, Reiners K, et al. Temporary occlusion of associative motor cortical plasticity by prior dynamic motor training. *Cereb Cortex*. 2006;16(3):376–85.
38. Kuber PM, Rashedi E. Training and Familiarization with Industrial Exoskeletons: A Review of Considerations, Protocols, and Approaches for Effective Implementation. *Biomimetics*. 2024;9(9).
39. Singh N, Saini M, Kumar N, Srivastava MVP, Mehndiratta A. Evidence of neuroplasticity with robotic hand exoskeleton for post-stroke rehabilitation: a randomized controlled trial. *J Neuroeng Rehabil* [Internet]. 2021;18(1):1–15. Available from: <https://doi.org/10.1186/s12984-021-00867-7>
40. Podda MV, Cocco S, Mastrodonato A, Fusco S, Leone L, Barbati SA, et al. Anodal transcranial direct current stimulation boosts synaptic plasticity and memory in mice via epigenetic regulation of Bdnf expression. *Sci Rep*. 2016;6(October 2015):1–19.
41. Tamara Aid, Anna Kazantseva, Marko Piirsoo, Kaia Palm and TT. Mouse and Rat BDNF gene structure and expression revisited. *J Neurosci Res*. 2007;85:525–35.
42. Erickson CA, Barnes CA. The neurobiology of memory changes in normal aging. *Exp Gerontol*. 2003;38(1–2):61–9.
43. Silhol M, Arancibia S, Maurice T, Tapia-Arancibia L. Spatial memory training modifies the expression of brain-derived neurotrophic factor tyrosine kinase receptors in young and aged rats. *Neuroscience*. 2007;146(3):962–73.
44. Fritsch B, Reis J, Martinowich K, Schambra HM, Ji Y, Cohen LG, et al. Direct current stimulation promotes BDNF-dependent synaptic plasticity: Potential implications for motor learning. *NIH Public Access* [Internet]. 2011;66(2):198–204. Available from: <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=2864780&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>
45. Belgrad J, Fields RD. Epigenome Interactions with Patterned Neuronal Activity. *Neuroscientist*. 2018;24(5):471–85.
46. Ljubisavljevic MR, Javid A, Oommen J, Parekh K, Nagelkerke N, Shehab S, et al. The effects of different repetitive Transcranial Magnetic Stimulation (rTMS) protocols on cortical gene expression in a rat model of cerebral ischemic-reperfusion injury. *PLoS One*. 2015;10(10):1–25.
47. Aydin-Abidin S, Trippe J, Funke K, Eysel UT, Benali A. High- and low-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation differentially activates c-Fos and zif268 protein expression in the rat brain. *Exp Brain Res*. 2008;188(2):249–61.
48. Molteni F, Gasperini G, Cannaviello G, Guanziroli E. Exoskeleton and End-Effector Robots for Upper and Lower Limbs Rehabilitation : Narrative Review. 2018;10:174–88.
49. Mehrholz J, Pohl M, Platz T, Kugler J, Elsner B. Electromechanical and robot-assisted arm training for improving activities of daily living, arm function, and arm muscle strength after stroke. *Cochrane Database Syst Rev*. 2018;2018(9).
50. Mehrholz J EB. Electromechanical and robot-assisted arm training for improving activities of daily living, arm function, and arm muscle strength after stroke (Review) www.cochranelibrary.com. *Cochrane database Syst Rev*. 2015;2015(11):CD006876.
51. Veerbeek JM, Langbroek-Amersfoort AC, Van Wegen EEH, Meskers CGM, Kwakkel G. Effects of Robot-Assisted Therapy for the Upper Limb after Stroke. *Neurorehabil Neural Repair*. 2017;31(2):107–21.

Drone Tabanlı Görüntü İşleme ve Derin Öğrenme Yöntemleriyle Gerçek Zamanlı Çatı Hasar Tespiti için Etiketli Bir Veri Setinin Oluşturulması ve YOLOv5 Uygulaması

Zeydin Pala^{1*} ve İbrahim Halil Ünlük²

¹ Yazılım Mühendisliği Bölümü / Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Muş Alparslan Üniversitesi, Muş, Türkiye

² Elektronik ve Otomasyon Bölümü, İnsansız Hava Aracı Teknolojisi ve Operatörlüğü ABD/ Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Muş Alparslan Üniversitesi, Muş, Türkiye

*z.pala@alparslan.edu.tr

Özet – Günümüzde yapıların çatı yüzeylerinde oluşan hasarların manuel yöntemlerle tespiti, özellikle geniş ölçekli yerleşim alanlarında oldukça zaman alıcı ve maliyetlidir. Bu çalışmada, insansız hava araçları (İHA) ile elde edilen yüksek çözünürlüklü görüntüler üzerinden, görüntü işleme ve derin öğrenme teknikleri kullanılarak gerçek zamanlı çatı hasar tespiti gerçekleştirilmiştir. Farklı çatı yapılarına ait toplam 3.500 etiketli görüntüden oluşan özgün bir veri seti oluşturulmuş, veriler çeşitli hasar türlerine göre sınıflandırılmıştır. YOLOv5 mimarisi kullanılarak geliştirilen model, dört farklı hasar türünü yüksek doğruluk oranlarıyla sınıflandırabilmiştir. Gerçek zamanlı testlerde, model saniyede yaklaşık 7 görüntü analiz etme kapasitesine ulaşarak pratik uygulamalar için yeterli hız ve doğruluğu sağlamıştır. Çalışma, TOKİ gibi geniş ölçekli konut alanlarının yanı sıra kamu binalarının izlenmesinde de kullanılabilecek otonom bir sistem altyapısının temellerini sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler – Drone, Görüntü İşleme, Derin Öğrenme, YOLOv5, Çatı Hasar Tespiti, Etiketli Veri Seti, Gerçek Zamanlı Sistemler.

I. GİRİŞ

Son yıllarda doğal afetler, çevresel etkiler ve zamanla oluşan yapısal yıpranmalar; bina çatıları üzerinde ciddi hasarlara yol açabilmektedir [1]. Bu hasarlar yalnızca yapı güvenliğini tehdit etmekle kalmamakta, aynı zamanda enerji verimliliğini azaltmakta ve bakım maliyetlerini artırmaktadır. Özellikle toki siteleri gibi geniş alanlara yayılmış yapılarda, tüm çatıların periyodik olarak manuel yöntemlerle incelenmesi hem zaman alıcı hem de maliyetlidir. Bu nedenle, çatı yüzeylerinin etkin bir şekilde izlenmesi ve hasar durumlarının tespit edilmesi için yenilikçi, otomatik ve gerçek zamanlı çözümlere ihtiyaç duyulmaktadır.

Günümüzde insansız hava araçları (İHA) ya da yaygın bilinen adıyla drone teknolojileri, görüntü işleme ve yapay zekâ algoritmaları ile entegre edilerek, büyük ölçekli yapıların hızlı ve güvenilir bir şekilde taranmasına imkân tanımaktadır. Drone'lar aracılığıyla elde edilen yüksek çözünürlüklü görüntüler sayesinde, yapıların çatı yüzeyleri detaylı şekilde analiz edilebilmekte ve hasar izleri tespit edilebilmektedir. Bu bağlamda, otomatik hasar tespit sistemlerinin geliştirilmesinde en önemli gerekliliklerden biri, doğru etiketlenmiş ve çeşitliliği yüksek bir veri setinin oluşturulmasıdır [2].

Bu çalışmada, bir bölgede yer alan farklı yapılara ait çatı görüntülerinden oluşan özgün bir veri seti oluşturulması ve bu verinin drone görüntüleri aracılığıyla gerçek zamanlı olarak analiz edilmesi hedeflenmektedir. Oluşturulacak bu veri seti, farklı hasar türlerini (çatlak, deformasyon, kaplama hasarı, yosunlanma vb.) içerecek şekilde sınıflandırılacak; görüntü işleme ve derin öğrenme yöntemleri ile modellenerek gerçek zamanlı hasar tespiti amaçlanacaktır [3].

Araştırmanın temel katkısı, geniş ölçekli toplu sitelerdeki yapılarında hızlı, ekonomik ve güvenilir bir şekilde hasar tespiti yapılmasına imkan sağlayacak otonom bir sistem altyapısının oluşturulmasıdır. Aynı zamanda çalışmanın çıktıları, yalnızca küçük kapsamlı siteler ile sınırlı kalmayıp; okul, hastane, kamu binaları gibi farklı büyük ölçekli yapı gruplarının izlenmesinde de kullanılabilecek nitelikte olacaktır.

Bu bildiri kapsamında ilk olarak veri setinin oluşturulma süreci detaylandırılmış [4]; ardından görüntü işleme teknikleri ile desteklenen hasar sınıflandırma modelleri sunulmuş ve son olarak sistemin gerçek zamanlı performansı test edilerek değerlendirme sonuçları paylaşılmıştır.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, bir bölgede yer alan binaların çatı yüzeylerinden elde edilen görüntüler kullanılarak, çatı hasarlarını tespit etmeye yönelik bir veri seti oluşturulmuştur [5][6]. Bu bölümde, verilerin toplanması, işlenmesi, etiketlenmesi ve modele hazırlanma süreci detaylandırılmaktadır.

A. Görüntü Toplama Süreci

Veri toplama işlemi için DJI Mavic Air drone kullanılmıştır. Drone, farklı gün ve hava koşullarında (güneşli, bulutlu, sabah ve öğle saatleri gibi) Şekil 1’de görüldüğü gibi uçurularak çeşitli açılardan çatı görüntüleri elde edilmiştir [7].



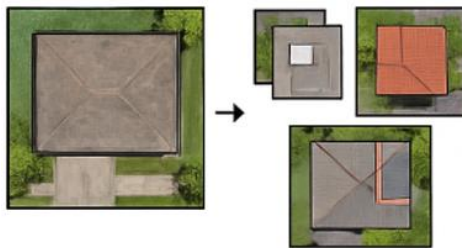
Şekil 1. Drone ile çatı görüntülerinin toplanma süreci ve uçuş rotası

Her bir bina çatısı, ortalama 10–15 farklı perspektiften görüntülenmiş, böylece verinin çeşitliliği ve gerçekçiliği artırılmıştır.

Uçuşlar önceden belirlenmiş rotalara uygun olarak gerçekleştirilmiş ve görüntüler 4K çözünürlükte (3840x2160 piksel) kaydedilmiştir. Bu sayede mikro düzeydeki hasarların da tespit edilebilir olması hedeflenmiştir.

B. Görüntü İşleme ve Ön Temizleme

Toplanan ham görüntüler, aşağıda verilen çeşitli ön işleme adımlarına tabi tutulmuştur (Şekil 2).

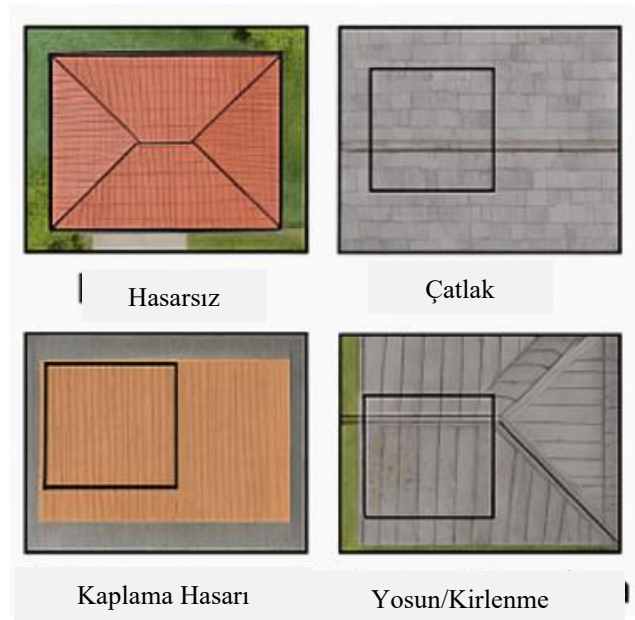


Şekil 2. Görüntülerin ön işleme adımları: Kırpma, normalizasyon ve artırma teknikleri

- **Gereksiz Alanların Kırılması:** Görüntülerde yer alan çatı dışı öğeler (ağaçlar, yollar, insanlar vb.) manuel ve otomatik yöntemlerle kırılarak dışlanmıştır.
- **Boyut Normalizasyonu:** Tüm görüntüler 512x512 piksel çözünürlüğe dönüştürülerek model giriş formatına uygun hale getirilmiştir.
- **Renk Düzeltme:** Aydınlatma farklarını minimize etmek amacıyla histogram eşitleme ve kontrast iyileştirme işlemleri uygulanmıştır.
- **Veri Artırma (Augmentation):** Modelin genelleme başarısını artırmak amacıyla döndürme, yansıtma, yakınlaştırma, gürültü ekleme gibi veri artırma teknikleri uygulanmıştır.

C. Etiketleme Süreci

Veri seti, çatı hasar türlerine göre manuel olarak etiketlenmiştir. Etiketleme süreci, alanında uzman bir danışmanın gözetiminde gerçekleştirilmiştir. Etiketler aşağıdaki kategorileri içermektedir (Şekil 3).



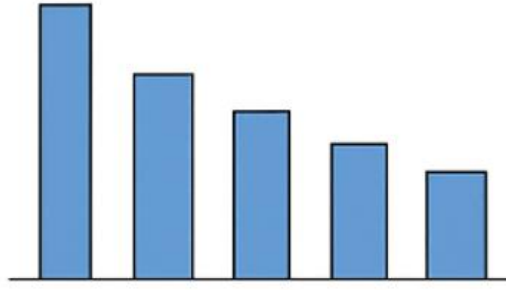
Şekil 3. Hasar türlerine göre etiketlenmiş örnek görüntüler

- **Hasarsız (0):** Yapısal bozulma veya anomali bulunmayan çatı yüzeyleri.
- **Çatlak (1):** Beton veya kiremit yüzeylerinde gözle görülebilir kırıklar.
- **Kaplama Hasarı (2):** Zift, membran veya kiremit kayıpları.
- **Yosun/Kirlenme (3):** Nem kaynaklı renk değişimleri veya biyolojik kirlenme izleri.

Etiketleme, open-source bir araç olan LabelImg ile gerçekleştirilmiş, her görüntü için hasar türü, koordinat bilgisi (bounding box) ve sınıf etiketi .xml formatında saklanmıştır. Bu etiketler daha sonra YOLO ve TensorFlow formatlarına dönüştürülerek farklı model girişlerine uyumlu hale getirilmiştir.

D. Veri Setinin Yapısı

Hazırlanan veri seti toplamda 3.500 etiketli görüntü içermektedir. Görüntüler eğitim (%70), doğrulama (%15) ve test (%15) alt kümelerine ayrılmıştır. Her alt kümede sınıf dağılımının dengeli olmasına özen gösterilmiştir. Veri seti gelecekte genişletilmeye ve farklı çatı yapıları ile zenginleştirilmeye uygun şekilde organize edilmiştir (Şekil 4).



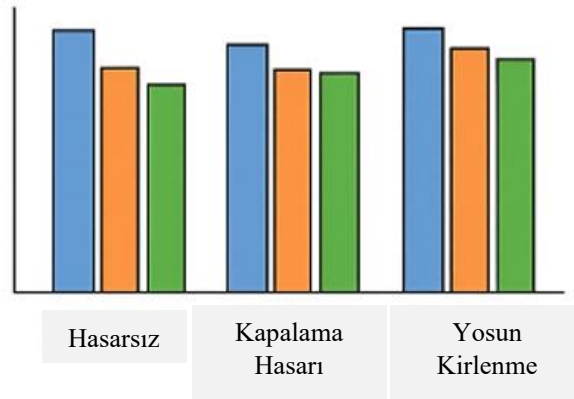
Şekil 4. Gerçek zamanlı hasar tespiti sisteminden ekran görüntüsü

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Oluşturulan veri seti kullanılarak farklı derin öğrenme mimarileri denenmiş ve en başarılı sonuçları veren model olarak YOLOv5 tercih edilmiştir. Model, PyTorch kütüphanesi kullanılarak eğitilmiş ve eğitim sürecinde 100 epoch boyunca Adam optimizer ve cosine annealing scheduler ile öğrenme oranı dinamik olarak güncellenmiştir. Eğitim sırasında elde edilen metrikler aşağıda özetlenmiştir.

A. Performans Değerlendirme

Modelin başarımı; doğruluk (accuracy), hassasiyet (precision), duyarlılık (recall) ve F1 skoru gibi metriklerle değerlendirilmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. Test kümesi üzerindeki precision, recall ve F1 skorları

Test kümesi üzerinde elde edilen ortalama sonuçlar şu Tablo 1’de gösterildiği gibidir.

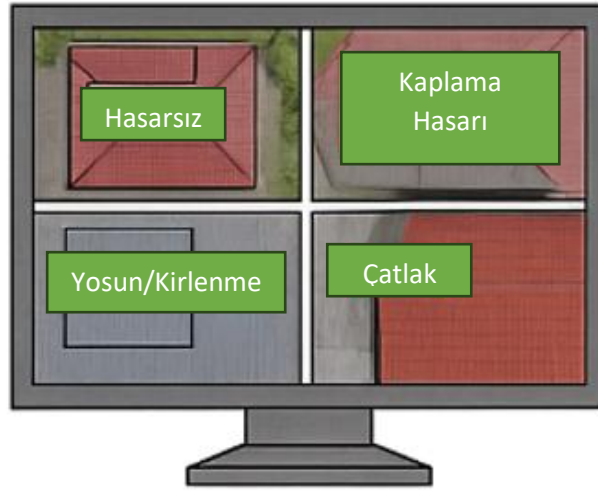
Tablo 1. Ortalama sonuçlar

Hasar Türü	Doğruluk (%)	Hassasiyet	Duyarlılık	F1 Skoru
Hasarsız	97.2	0.95	0.98	0.96
Çatlak	94.1	0.91	0.92	0.91
Kaplama Hasarı	92.6	0.88	0.91	0.89
Yosun/Kirlenme	90.5	0.85	0.89	0.87

Model, özellikle “hasarsız” ve “yapısal bozulma” sınıflarında yüksek başarı göstermiştir. “Yosun/kirlenme” gibi görsel olarak daha belirsiz sınıflarda ise göreceli olarak daha düşük doğruluk oranları gözlemlenmiştir. Bu durum, sınıflar arasındaki görsel benzerliklerin model için ayrıştırılmasını zorlaştırdığına işaret etmektedir.

B. Gerçek Zamanlı Uygulama Testleri

Modelin gerçek zamanlı uygulanabilirliğini test etmek amacıyla, dronelar ile eşzamanlı görüntü alımı yapılmış ve her bir görüntü, model tarafından anında analiz edilerek hasar sınıflandırması yapılmıştır (Şekil 6). Bu testlerde ortalama analiz süresi görüntü başına 100 ms olarak ölçülmüştür, bu da saniyede yaklaşık 7 görüntü analizi anlamına gelmektedir. Bu hız, saha uygulamaları için yeterli görülmektedir.



Şekil 6. Gerçek zamanlı hasar tespiti sisteminden ekran görüntüsü

Ayrıca, model çıktıları site yönetimiyle paylaşılarak doğruluk kontrolü yapılmış ve %91 oranında doğrulayıcı gözlemler ile uyumlu sonuçlar alınmıştır.

IV. TARTIŞMA

Elde edilen sonuçlar, dronelar aracılığıyla alınan görüntülerden anlamlı hasar tespitlerinin yüksek doğrulukla yapılabileceğini göstermektedir. Ancak bazı sınıflar arası görsel örtüşme, sınıflandırma hatalarına neden olmuştur. Bu durumun, daha fazla veri ile dengelenmiş sınıf örnekleri ve çoklu spektrum (termal, IR) verilerinin dahil edilmesiyle geliştirilebileceği öngörülmektedir.

Ayrıca, bazı çatı türlerinin yapısal olarak farklılık göstermesi, modelin genelleme kapasitesini zorlamıştır. İlerleyen çalışmalarda mimari çeşitliliği artırmak amacıyla farklı çatı gruplarından görüntü toplanması planlanmaktadır.

V. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında, bir gölgedeki çatı yüzeylerinden drone aracılığıyla görüntüler toplanmış; bu görüntülerden yüksek kaliteli, etiketli bir veri seti oluşturulmuş ve gerçek zamanlı çatı hasar tespiti için derin öğrenme tabanlı bir sistem geliştirilmiştir.

Geliştirilen sistem;

- Gerçek zamanlı çalışabilen,
- Dört farklı hasar türünü başarıyla ayırt edebilen,

- Geniş alanlarda manuel denetime gerek kalmadan hızlı müdahale yapılmasını sağlayan bir çözüm sunmaktadır. Uygulama sonuçları, sistemin mahalle gibi geniş yapılarda etkili bir biçimde kullanılabileceğini ve bakım süreçlerinin dijitalleştirilmesinde önemli rol oynayabileceğini göstermiştir.

Gelecek çalışmalarda, termal görüntülerle desteklenen çoklu model yaklaşımlarının denenmesi, farklı coğrafyalardan alınan çatı tiplerinin dahil edilmesi ve drone görüntülerinin otomatik GPS eşlemesi ile haritalanması planlanmaktadır. Bu sayede sistem, daha kapsamlı bir hasar izleme ve yönetim platformuna dönüştürülebilecektir.

KAYNAKLAR

- [1] S. Fujita and M. Hatayama, "Rapid and Accurate Detection of Building Damage Investigation Using Automatic Method to Calculate Roof Damage Rate," *Journal of Integrated Disaster Risk Management*, vol. 12, no. 1, pp. 89–111, May 2022, doi: 10.5595/001c.35885.
- [2] D. Zahradník, F. Roučka, and L. Karlovská, "Flat roof classification and leaks detections by Deep Learning," *Stavební obzor - Civil Engineering Journal*, vol. 32, no. 4, Mar. 2024, doi: 10.14311/cej.2023.04.0042.
- [3] Z. Aygün, M. Kocaman, S. Aydemir, and B. Konakoğlu, "Building Damage Detection Using Deep Learning Architecture with Satellite Images: The Case of the 6 February 2023 Kahramanmaraş Earthquake," *International Journal of Pioneering Technology and Engineering*, vol. 3, no. 02, pp. 53–61, Dec. 2024, doi: 10.56158/jpte.2024.94.3.02.
- [4] A. R. Sayeem, J. F. Omi, M. Hasan, M. U. Mojumdar, and N. R. Chakraborty, "IDDMSLD: An image dataset for detecting Malabar spinach leaf diseases," *Data Brief*, vol. 58, Feb. 2025, doi: 10.1016/j.dib.2025.111293.
- [5] S. H. Ro and J. Gong, "Scalable approach to create annotated disaster image database supporting AI-driven damage assessment," *Natural Hazards*, vol. 120, no. 13, pp. 11693–11712, Oct. 2024, doi: 10.1007/s11069-024-06641-x.
- [6] Ö. Faruk PİCAK, K. SABANCI Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, M. Fakültesi, E.-E. Mühendisliği Bölümü, and T. Alındı, "Yapay Zeka Kullanılarak Deprem Bölgelerinden Drone ile Alınan Görüntülerden Enkaz Tespitinin Gerçekleştirilmesi," *Araştırma Makalesi (Research Article)*, vol. 7, no. 1, pp. 11–18, 2025, doi: 10.55213/kmujens.1696461.
- [7] L. M. A. dos Santos, V. A. G. Zanoni, E. Bedin, and H. Pistori, "Deep learning applied to equipment detection on flat roofs in images captured by UAV," *Case Studies in Construction Materials*, vol. 18, Jul. 2023, doi: 10.1016/j.cscm.2023.e01917.

Simulation-Based Investigation of Intake Air Temperature Effects on Emissions and Engine Performance in a Diesel-Hydrogen Engine

Furkan Yazıcı, Şevket Onur Kılıç and Serdar Halis*

Department of Automotive Engineering, Pamukkale University, Denizli, Türkiye

*shalis@pau.edu.tr

Abstract – As global attention to environmental sustainability intensifies, more stringent regulations are being enforced to minimize the ecological footprint of internal combustion engines. This has accelerated the shift away from conventional fossil fuels, particularly diesel, and fostered research into cleaner alternatives. Among these, hydrogen stands out as a promising candidate for use in diesel engines due to its favorable combustion properties and emission reduction potential. This study presents a simulation-based analysis of the effects of intake air temperature on combustion and emissions in a diesel engine operating with a hydrogen-diesel dual-fuel blend. A single-cylinder, four-stroke, water-cooled, naturally aspirated diesel engine was modeled using Ricardo Wave software and validated against experimental data. After validation, simulations were performed using a fuel mixture consisting of 30% hydrogen and 70% diesel by mass, while maintaining a constant total fuel mass. The effects of three intake air temperatures (300 K, 320 K, and 340 K) on engine behavior were examined. Results showed that increasing intake temperature led to a rise in in-cylinder pressure by approximately 0.60 bar and an earlier occurrence of peak pressure, indicating enhanced combustion. However, higher intake temperatures also resulted in increased emissions: nitrogen oxides (NO_x) by 26.7%, carbon monoxide (CO) by 149.7%, and hydrocarbon (HC) by 12.1%. These increases were attributed to elevated in-cylinder temperatures and changed oxidation dynamics. The findings highlight the critical role of intake air temperature management in optimizing performance while minimizing emissions in hydrogen-assisted diesel engines.

Keywords – Dual Fuel, Hydrogen Addition, Injection Start, Intake Temperature.

1. INTRODUCTION

In recent years, rising average air temperatures have drawn increased attention to the effects of climate change. This growing awareness, combined with the gradual depletion of fossil fuel reserves, has made sustainability transformations inevitable in many sectors that rely on fossil fuels. Pollutants such as carbon emissions, nitrogen oxides (NO_x), and hydrocarbons (HC) from internal combustion engines pose significant threats to both the environment and human health. As a result, many countries are imposing strict regulations on fossil fuel-powered vehicles and are turning toward cleaner fuel alternatives. Although diesel engines are still preferred in many fields due to their high torque output and efficiency, their high emission levels have brought their future viability into question [1].

Diesel engines play a key role in daily life due to their high thermal efficiency, durability, and low fuel consumption. However, since they operate with carbon-based fuels, they emit significant amounts of carbon dioxide (CO₂). Additionally, emissions of harmful components such as nitrogen oxides and hydrocarbons present serious environmental drawbacks [2]. The use of alternative fuels is necessary not only to mitigate these disadvantages but also to avoid an abrupt abandonment of the existing infrastructure.

Within this framework, hydrogen stands out as a promising alternative fuel due to its carbon-free nature, high flame speed, and the fact that it produces only water vapor as a combustion product. The use of hydrogen in diesel engines presents an effective transitional solution to reduce emissions while maintaining compatibility with current systems.

Pan et al. studied diesel engines experimentally to investigate the effects of intake temperature and methanol addition on engine performance and emissions. They used a 6-cylinder turbocharged heavy-duty engine under constant load at 1500 rpm with port methanol injection. Lower intake temperature decreased indicated thermal efficiency and exhaust gas temperature and increased ignition delay, leading to later combustion and lower cylinder pressures. Methanol addition significantly reduced NO and soot emissions, while NO₂, CO, and HC emissions increased. Increasing intake temperature reduced NO₂, HC, and CO emissions but increased NO and soot emissions [3].

Kim et al. conducted both experimental and numerical studies on biodiesel-fueled engines to investigate the effects of intake air temperature on combustion performance and exhaust emissions. In the study, intake air temperatures of 280 K, 290 K, and 310 K were used. As the intake temperature increased, in-cylinder pressure, heat release rate, as well as NO_x, CO, and HC emissions generally showed an increasing trend [4].

İbrahim and Ramesh conducted an experimental study on a single-cylinder diesel engine to investigate the effects of intake air temperature on combustion performance and exhaust emissions. The study utilized intake air temperatures of 380 K, 390 K, and 400 K. As the intake temperature increased, both in-cylinder pressure and heat release rate generally exhibited an increasing trend [5].

Khaifullizan et al. conducted an experimental study investigating the effects of intake air temperature on automobile engine performance and fuel consumption. Tests were carried out at different intake air temperatures ranging from 305 K to 340 K. They observed that as the intake air temperature increased, fuel consumption decreased [6].

Çınar et al. conducted an experimental study on HCCI engines investigating the effects of intake air temperature on cylinder pressure, cumulative heat release, and combustion initiation. They used a fuel blend of 20% n-heptane and 80% iso-octane at 1200 rpm and intake temperatures between 40°C and 120°C. Their results showed that increasing intake temperature raised cylinder pressure and cumulative heat release. CO and HC emissions increased up to 90°C and then started to decrease. NO emissions increased at 100°C and 120°C intake temperatures [7].

Abd-Alla et al. conducted an experimental study on a dual-fuel engine using a diesel-methane blend, investigating the effects of Exhaust Gas Recirculation (EGR) and intake air temperature on combustion and emissions. They found that as the intake air temperature increased, emissions showed an increasing trend up to a certain point [8].

This study aims to contribute to the literature by analyzing the performance and emission behavior of a hydrogen-diesel dual-fuel engine under varying intake air temperatures, including its potential advantages and disadvantages. In this study, an experimental diesel engine was modeled in a virtual environment using Ricardo Wave software, and characteristic engine curves such as cylinder pressure and heat release rate were obtained. The compatibility of these characteristic curves was discussed, and the model was validated accordingly. After validation, the fuel composition was altered to consist of 30% hydrogen and 70% diesel. Subsequently, reasonable intake air temperature values were selected, and combustion analysis was performed under these conditions. The resulting data were evaluated to examine the effects on combustion characteristics and emissions. Additionally, the insights presented here are intended to offer a fresh perspective to researchers and developers working in this field.

II. MATERIALS AND METHOD

The experimental work was carried out using a diesel engine at the Engine Test Laboratory of Gazi University, Department of Automotive Engineering. The simulation study was performed by creating a model of the single-cylinder diesel engine in Ricardo Wave. Experimental and numerical data were compared to validating the model. Following the successful validation, hydrogen was added to the Ricardo Wave model. For the hydrogen-enriched model, changes in intake air temperatures were applied,

and cylinder pressure, heat release, and emission data were obtained and plotted. These graphs were used to evaluate engine performance and exhaust emissions. The experimental setup used in this study is shown in Figure 1.

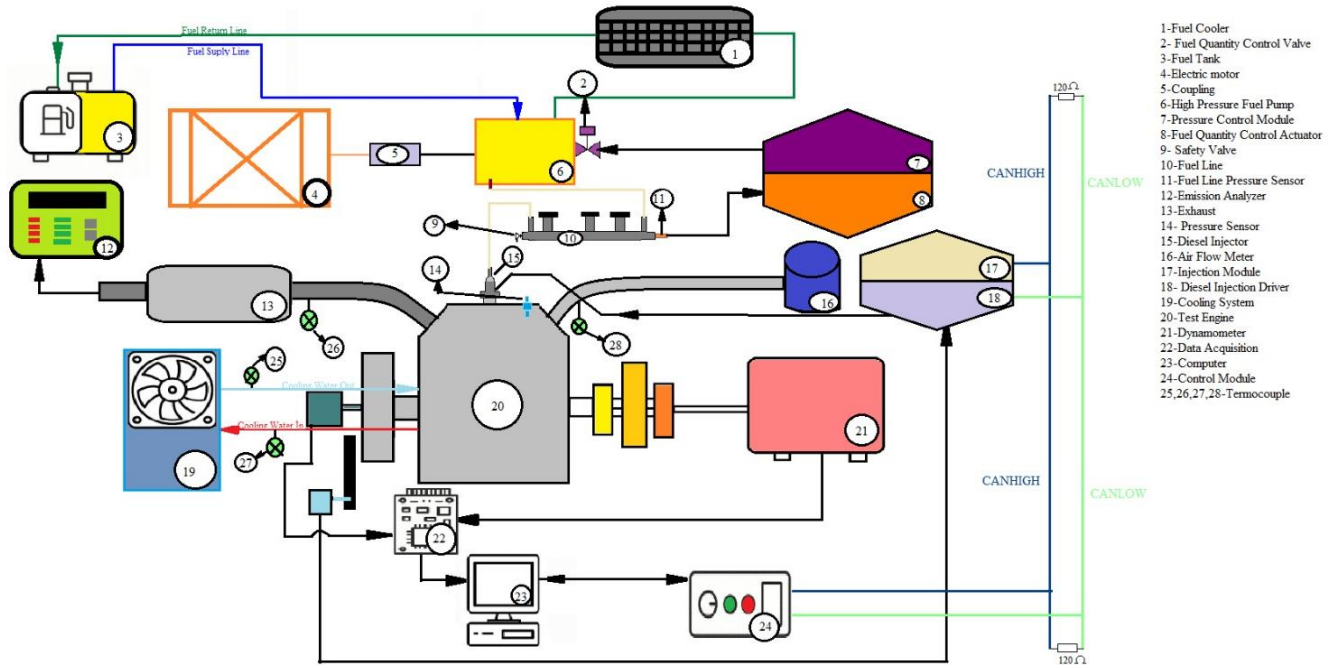


Fig. 1 Schematic of experimental setup

A. Test Engine

The experimental engine is a single-cylinder, water-cooled, naturally aspirated engine. The technical specifications of the engine are given in Table 1.

Table 1. Experimental engine specifications

Experiment Engine	Antor AD510 BS
Engine Type	Diesel Engine
Number of cylinders	1
Cylinder diameter	85 mm
Course duration	90 mm
Connecting rod length	145 mm
Cylinder volume	510 cm ³
Compression ratio	17.8:1
Engine speed	2000 rpm
Injection pressure	650 bars
Start of injection	ATDC 16°CA
Closure of the intake valve	230°
Opening the exhaust valve	140°
Exhaust valve closure	370°

B. Simulation

The simulation model created in Ricardo Wave consists of an injector, cylinder, intake valve, exhaust valve, engine block, four channels, and intake and exhaust air flows. A two-zone thermodynamic state model was employed for the cylinder in the simulation. A multi-component, multi-fuel Wiebe combustion sub-model was used for the multi-fuel combustion, and the Woschni model was applied for heat transfer.

C. Validation

One of the fundamental prerequisites in numerical investigations is the validation of the simulation model against experimental data prior to conducting further analyses. In this study, the validation process was carried out using pressure-crank angle graphs, and the simulation results demonstrated a close agreement with the experimental data, exhibiting only a minimal margin of error.

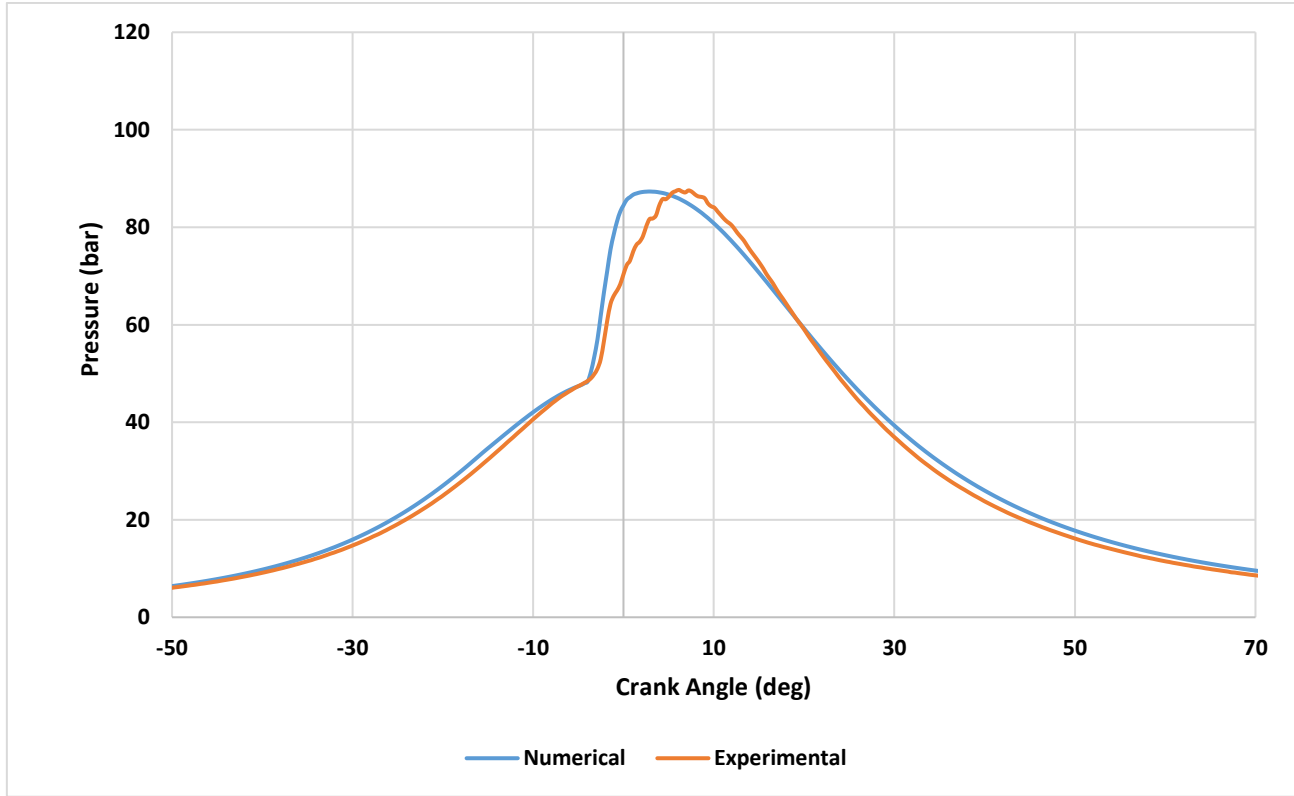


Fig. 2 Validation process

Table 2. Validation conditions

Intake air temperature	300 K
Engine speed	2000 rpm
Injection pressure	650 bars
Start of injection	16°CA bTDC
Amount of fuel injected	20,5 mg/cycle
Connecting rod length	145 mm
Compression ratio	17.8:1
Spray angle	77°
Injection duration	8,25°CA

III. RESULTS AND DISCUSSION

This section investigates the effects of intake air temperatures on combustion characteristics and emissions in a single-cylinder dual-fuel diesel-hydrogen engine. After validating the experimental data with Ricardo Wave, analyses were conducted at intake temperatures of 300K, 320K, and 340K with a fuel blend containing 30% hydrogen. Changes in intake air temperature significantly affect engine and combustion characteristics, especially in dual-fuel engines.

As seen in Figures 3 and 4, increasing intake air temperature resulted in an increase in maximum cylinder pressure and heat release rate. The highest cylinder pressure was approximately 89.7 bar (5°CA after TDC) at 340K intake temperature, while the lowest was approximately 89.13 bar (6.1°CA after

TDC) at 300K. Comparing the original (300K) and highest intake temperature (340K), the peak pressure occurred 1.1°CA earlier at 340K. The heat release graph shows higher energy release at 340K, with a maximum heat release rate of 111.22 J/°CA (3.59°CA before TDC). The lowest maximum heat release rate of 109.97 J/°CA (2.15° CA before TDC) was observed at 300K.

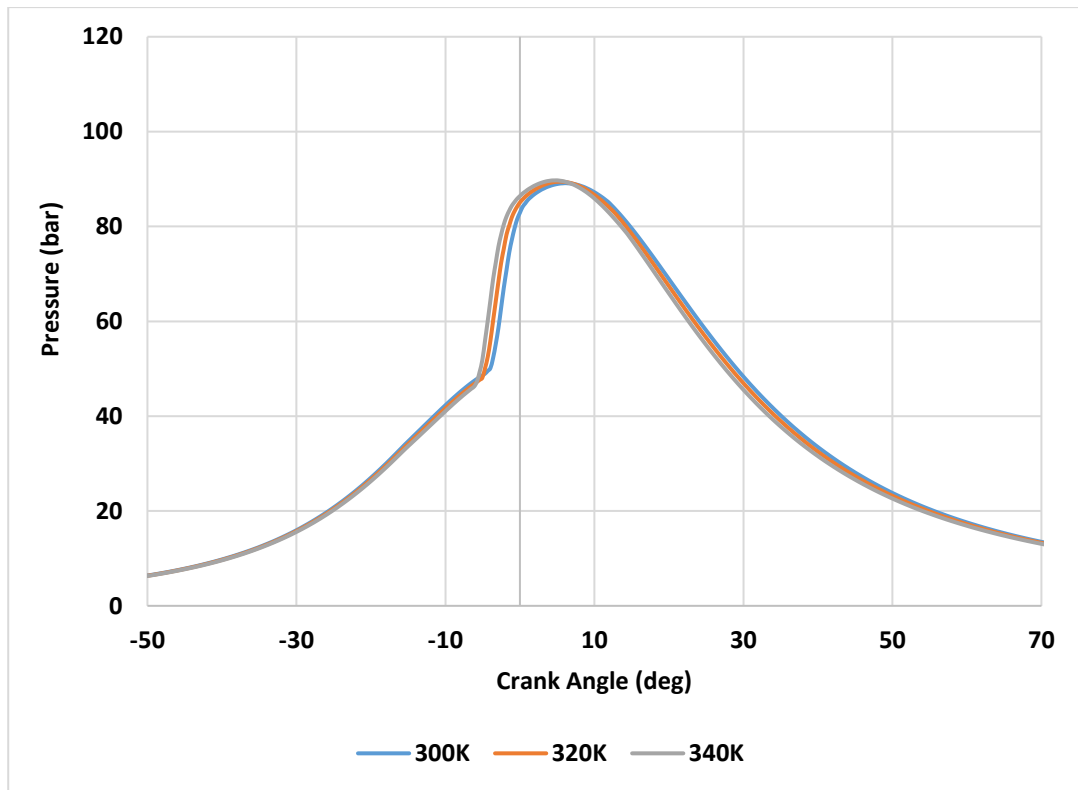


Fig. 3 Intake temperature vs. pressure

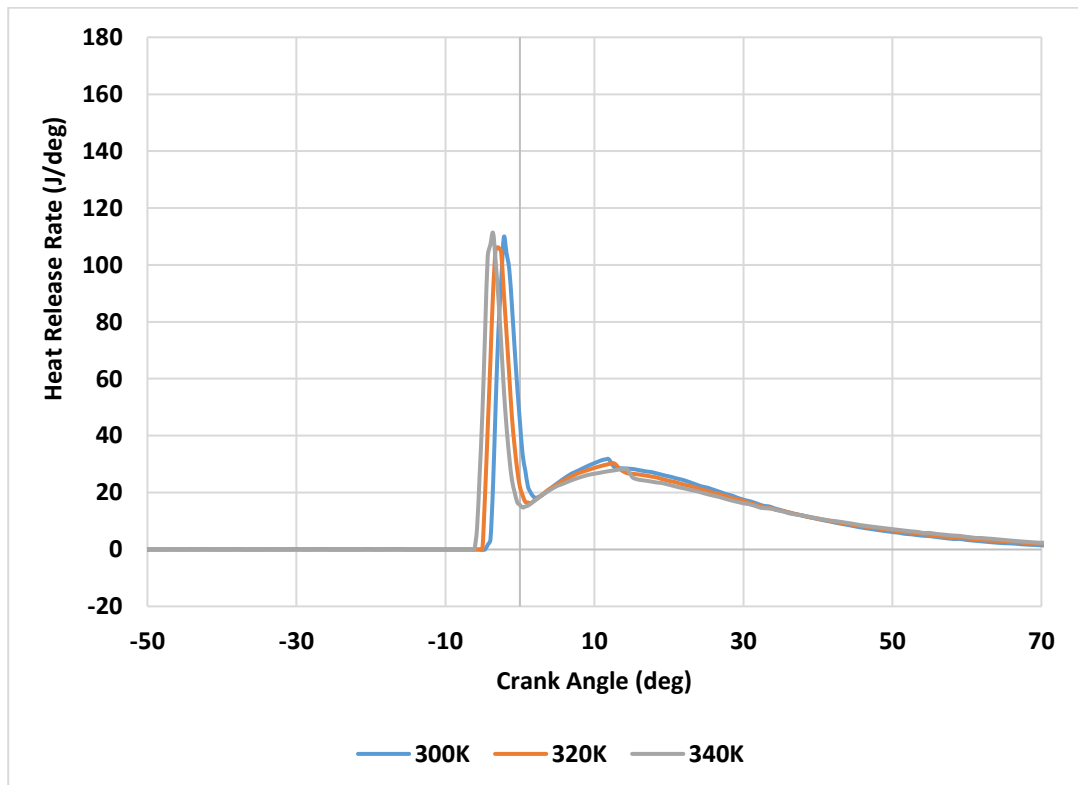


Fig. 4 Intake temperature vs. heat release rate

The effects of intake air temperature on emission characteristics in diesel-H₂ engines are presented in Figures 5, 6 and 7. Generally, as intake temperature increases, cylinder pressure and temperature rise, causing increases in NO_x, CO, and HC emissions. Increasing the proportion of hydrogen in the mixture can lead to a reduction in CO and HC emissions due to the high degree of complete combustion that usually occurs, but can also lead to an increase in NO_x due to higher in-cylinder temperatures. However, in this study, it is seen that while the hydrogen level is kept constant, all three emission levels tend to increase as the increase in inlet air temperature leads to higher temperatures in the cylinder. As shown in the emission graphs, the highest NO_x values were obtained at 340K. It was observed that decreasing intake temperature lowered NO_x, CO, and HC values. NO_x values were 1111.03 ppm at 300K, 1255.45 ppm at 320K, and 1407.86 ppm at 340K intake temperature. CO values were 166.53 ppm at 300K, 118.54 ppm at 320K, and 415.87 ppm at 340K. HC values were 33.1 ppm at 300K, 35.11 ppm at 320K, and 37.1 ppm at 340K. NO_x decreases as intake temperature decreases because NO_x formation requires high pressure, temperature, and excess oxygen. Lower intake temperatures increase air density, providing more oxygen that reduces CO formation. Increased oxygen also improves combustion, reducing HC emissions [9].

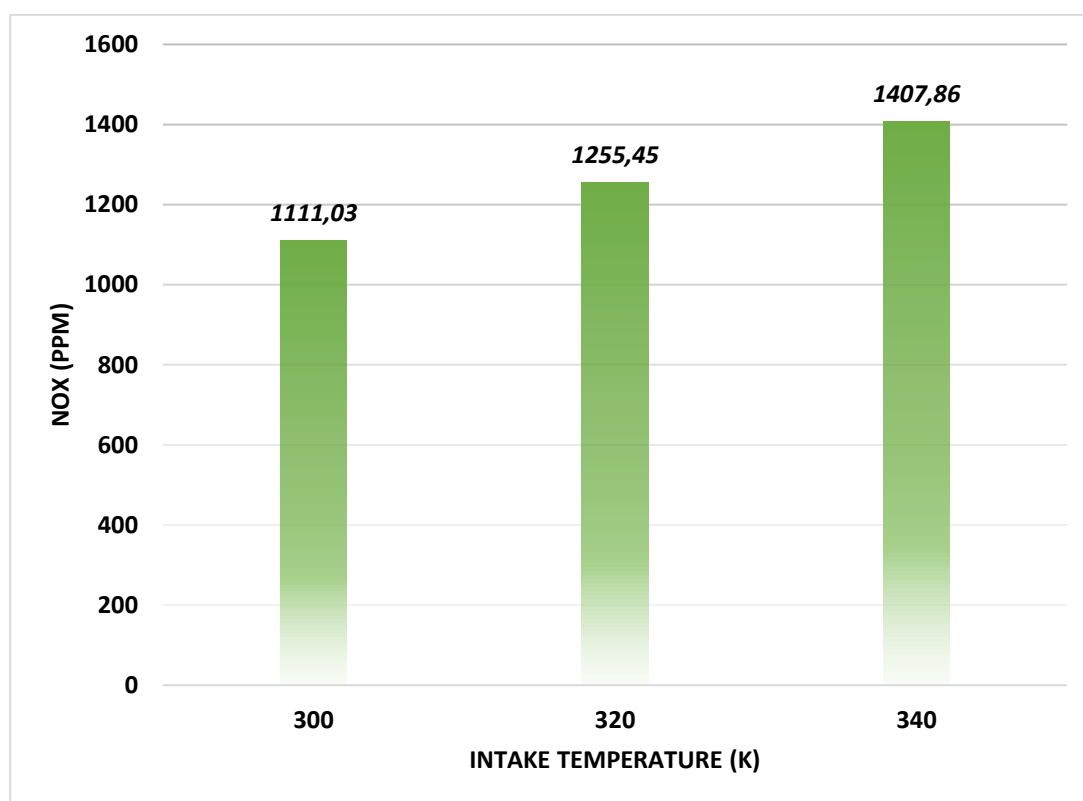


Fig. 5 Intake temperature vs. NO_x emission

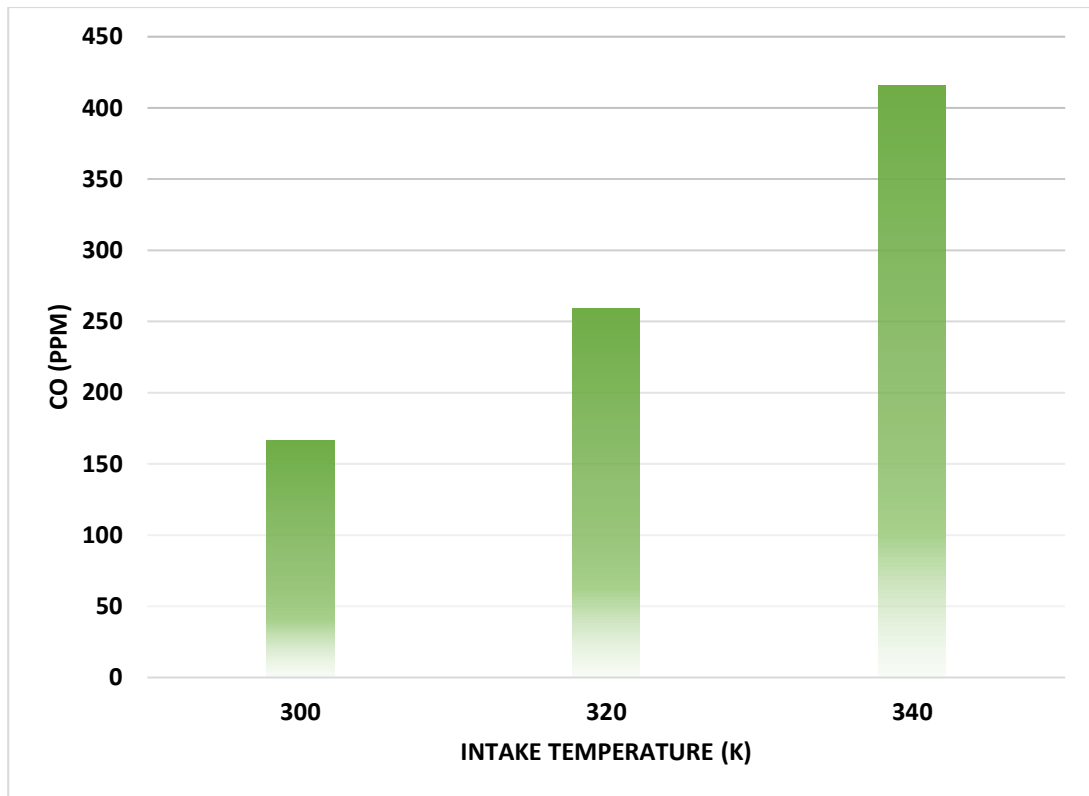


Fig. 6 Intake temperature vs. CO emission

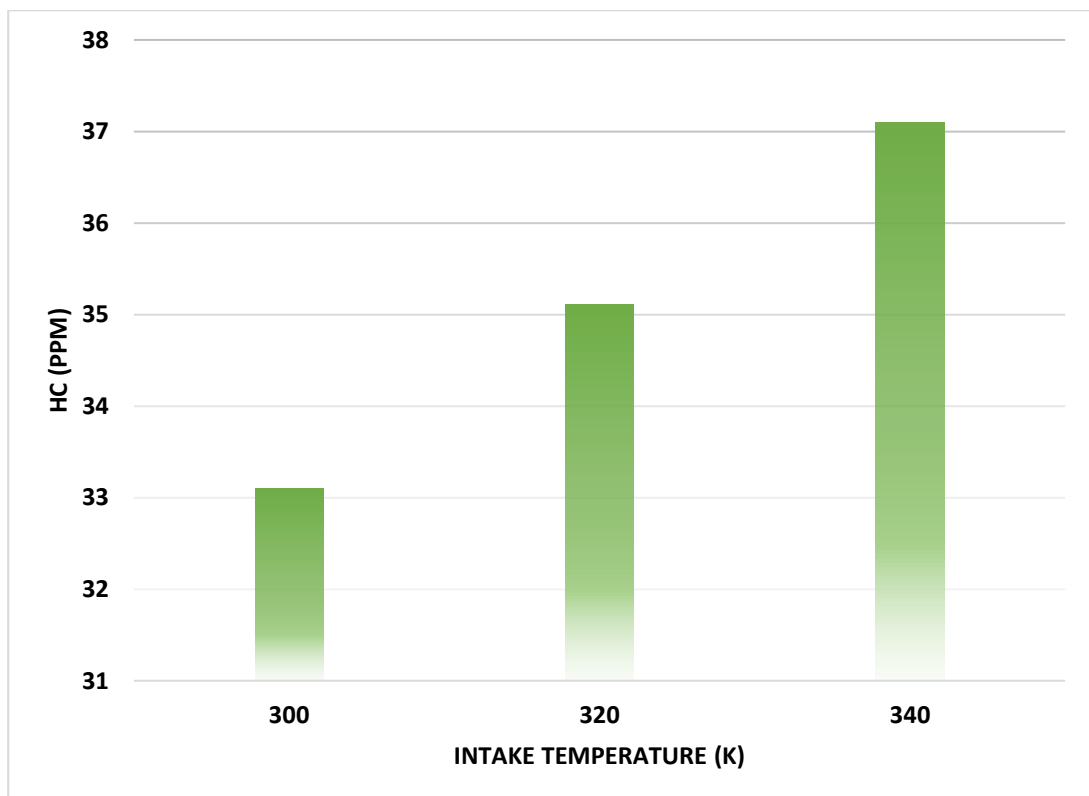


Fig. 7 Intake temperature vs. HC emission

IV.CONCLUSION

In this study, the effects of intake air temperature variation on engine performance and emission formation were investigated in a single-cylinder diesel engine. The experimental engine was modeled

using Ricardo Wave software. Then, the simulation model was validated by comparing the data obtained from both experimental and simulated engines. Instead of using 100% diesel fuel, a diesel-hydrogen blend containing 30% hydrogen by mass was employed for the continued analysis. The in-cylinder pressure increased by approximately 0.60 bar and caused the peak pressure to shift earlier in the cycle. The results demonstrated a clear correlation between increased intake air temperature and elevated emission levels. Specifically, as the intake temperature rose from 300 K to 340 K, NO_x emissions increased by approximately 26.7% (from 1111.03 ppm to 1407.86 ppm), CO emissions rose by 149.7% (from 166.53 ppm to 415.87 ppm), and HC emissions increased by 12.1% (from 33.1 ppm to 37.1 ppm). These trends can be attributed to higher in-cylinder temperatures resulting from elevated intake air temperatures, which promote NO_x formation and, under certain conditions, may also inhibit complete oxidation of fuel, leading to increased CO and HC emissions. This study highlights the critical role of intake temperature management in optimizing emissions performance in dual-fuel diesel-hydrogen engines.

REFERENCES

- [1] Sayin, C., Ozsezen, A. N., & Canakci, M. (2010). The influence of operating parameters on the performance and emissions of a DI diesel engine using methanol-blended-diesel fuel. *Fuel*, 89(7), 1407-1414.
- [2] Demirbas, A. (2008). Importance of biomass energy sources for Turkey. *Energy policy*, 36(2), 834-842.
- [3] Pan, W., Yao, C., Han, G., Wei, H., & Wang, Q. (2015). The impact of intake air temperature on performance and exhaust emissions of a diesel methanol dual fuel engine. *Fuel*, 162, 101-110.
- [4] Kim, H. J., Jo, S., Lee, J. T., & Park, S. (2020). Biodiesel fueled combustion performance and emission characteristics under various intake air temperature and injection timing conditions. *Energy*, 206, 118154.
- [5] Ibrahim, M. M., & Ramesh, A. (2014). Investigations on the effects of intake temperature and charge dilution in a hydrogen fueled HCCI engine. *International journal of hydrogen energy*, 39(26), 14097-14108.
- [6] Khaifullizan, M. N. N., Jaat, N., Abidin, S. F. Z., Darlis, N., & Zahari, I. (2021). Effect of Intake Air Temperature on Engine Performance and Fuel Consumption of Passenger Car. *Fuel, Mixture Formation and Combustion Process*, 3(2).
- [7] Cinar, C., Uyumaz, A., Solmaz, H., Sahin, F., Polat, S., & Yilmaz, E. (2015). Effects of intake air temperature on combustion, performance and emission characteristics of a HCCI engine fueled with the blends of 20% n-heptane and 80% isooctane fuels. *Fuel Processing Technology*, 130, 275-281.
- [8] Abd-Alla, G. H., Soliman, H. A., Badr, O. A., & Abd-Rabbo, M. F. (2001). Effects of diluent admissions and intake air temperature in exhaust gas recirculation on the emissions of an indirect injection dual fuel engine. *Energy Conversion and Management*, 42(8), 1033-1045.
- [9] Balaban, F., Halis, S., & Yücesu, H. S. (2024). Numerical Analysis of the Effects of Fuel Injection Duration and Spray Angle on the Combustion Process in a Compression Ignition Engine. *Gazi University Journal of Science Part A: Engineering and Innovation*, 11(1), 41-56.

Associations Between Physical Performance and Cognitive Control in Recreational Dancers

Abdurrahim Yıldız^{1*}, Makbule Karıcı² and Amir Hassanbabaei²

¹Department of Physiotherapy and Rehabilitation, Faculty of Health Sciences, Sakarya University of Applied Sciences, Turkey

²Department of Physiotherapy and Rehabilitation, Faculty of Health Sciences, Istanbul Aydın University, Turkey

*(abdurrahimyildiz@subu.edu.tr) Email of the corresponding author

Abstract – Background: Dance-based activities are known to improve both physical and cognitive performance due to their integration of complex motor tasks and attentional demands. However, the extent to which balance, functional mobility, and executive function are interrelated in recreational dancers remains underexplored.

Objective: This study aimed to investigate the relationships between functional mobility, dynamic balance, and executive cognitive performance in a sample of amateur dancers.

Methods: Thirty-five amateur dancers (21 females, 14 males; mean age: 28.68 ± 6.54 years) participated in this cross-sectional study. Functional mobility was evaluated using the Sitting-Rising Test (SRT), dynamic balance was assessed via the Y-Balance Test (YBT), and executive function was measured through a computerized Stroop Color-Word Test. Anthropometric data including height, weight, and BMI were also collected. Pearson correlation coefficients were calculated to examine associations among variables.

Results: Significant positive correlations were found between SRT scores and YBT reach distances in all three directions (anterior, posteromedial, posterolateral), as well as total composite scores ($p < 0.01$). However, Stroop test performance (response time, errors) did not show significant relationships with either SRT or YBT scores ($p > 0.05$). Height and weight were negatively correlated with YBT scores, indicating that greater body dimensions may adversely affect balance performance.

Conclusion: Findings suggest a strong relationship between functional mobility and dynamic balance in amateur dancers, but no significant link between physical and executive cognitive performance. These results emphasize the importance of incorporating cognitively challenging components into physical training programs to achieve dual-domain benefits.

Keywords – Dance Training, Balance, Functional Mobility, Executive Function, Stroop Test, Y-Balance Test.

I. INTRODUCTION

Dance is a multifaceted physical activity that requires coordination, rhythm, balance, and often cognitive engagement. Unlike many other forms of exercise, dance training incorporates complex movement patterns that challenge both neuromuscular and cognitive systems through continuous sensorimotor feedback and dual-task demands. Accumulating evidence suggests that dance-based activities can improve postural control, dynamic balance, and even executive functions such as cognitive flexibility, attention, and inhibitory control, especially in aging and neurologically healthy populations (1, 2).

Functional movement capacity and balance are vital components of physical fitness, often assessed through standardized tools such as the Sitting-Rising Test (SRT) and the Y-Balance Test (YBT). The SRT is a simple yet powerful field test that evaluates musculoskeletal fitness and predicts overall mortality, mobility limitations, and fall risk (3). The YBT, on the other hand, is a dynamic balance test that challenges

unilateral stance control across multiple planes and is widely used in clinical and athletic settings to assess postural stability and injury susceptibility (4).

While physical fitness and balance are essential, cognitive processes—particularly executive functions—play a critical role in maintaining stability during complex tasks. Executive functions encompass skills such as inhibition, working memory, and task switching, which are typically assessed using neuropsychological tools like the Stroop Color-Word Test (SCWT). The SCWT is widely recognized for evaluating cognitive inhibition and attention control, both of which are essential for real-world multitasking and motor planning (5). However, findings regarding the interplay between motor and cognitive domains in healthy active adults remain mixed. Some studies have shown that motor-cognitive dual-task paradigms can enhance executive function (6), whereas others suggest limited transfer effects unless cognitive load is explicitly integrated into training protocols (7).

A growing body of literature emphasizes the benefits of cognitively enriched physical interventions. For instance, interventions that combine physical movement with executive task demands—such as interactive video games, virtual reality dance programs, and stepping games with Stroop-like cognitive stimuli—have shown improvements in both domains, particularly in older adults (8, 9). Nonetheless, research on younger or recreationally active populations such as amateur dancers remains scarce.

In addition to neuromotor and cognitive factors, anthropometric variables such as body height, weight, and body mass index (BMI) may influence performance on balance and mobility tests. Taller individuals, for example, often exhibit higher centers of mass, which can challenge postural control and result in lower YBT scores (10).

Given these multidimensional relationships, the aim of the present study is to explore the associations between functional mobility (SRT), dynamic balance (YBT), and executive cognitive function (SCWT) in a sample of amateur dancers. Furthermore, this study investigates whether anthropometric characteristics such as height, weight, and BMI correlate with performance on these physical and cognitive assessments. Understanding these associations may inform the design of targeted dance-based training programs that concurrently optimize physical and cognitive outcomes.

II. MATERIALS AND METHOD

Participants

This study included 35 amateur dancers (21 females, 14 males) aged between 19 and 45 years (mean age = 28.68 ± 6.54 years), who were actively engaged in recreational dance training for at least six months. All participants reported no history of musculoskeletal, neurological, or balance-related disorders and were free of any acute injuries at the time of testing. Prior to data collection, informed consent was obtained from all participants in accordance with ethical standards for human research. Describe in detail the materials and methods used when conducting the study. The citations you make from different sources must be given and referenced in references.

Instruments and Measures

Demographic Information

Participants' age (years), height (cm), weight (kg), and body mass index (BMI, kg/m^2) were recorded prior to the functional and cognitive assessments. BMI was calculated using the standard formula: weight divided by height squared (kg/m^2).

Sitting-Rising Test

The Sitting-Rising Test is a simple yet valid tool used to assess musculoskeletal fitness, combining aspects of flexibility, lower limb strength, balance, and coordination. Participants were instructed to sit and then rise from the floor using the least amount of support (hands, knees, etc.) possible. The total score ranges from 0 to 10, with deductions of 0.5 points for each support used (e.g., hand or knee). A score of 10 indicates optimal musculoskeletal function. The SRT has been shown to predict fall risk and overall functional mobility in both active and sedentary populations (11).

Y-Balance Test

The Y-Balance Test is a dynamic balance assessment tool designed to evaluate an individual's postural control in three directions: anterior, posteromedial, and posterolateral. While standing on one leg on a central platform, the participant is asked to reach as far as possible in each direction with the free leg, without losing balance or shifting the stance foot. Each leg was tested, and three trials were recorded per direction. Reach distances were normalized to leg length, and a composite score was calculated as:

$$(\text{Anterior} + \text{Posteromedial} + \text{Posterolateral}) / (3 \times \text{limb length}) \times 100$$

The YBT is a reliable measure of neuromuscular control and has been widely used in athletic and clinical populations to identify asymmetries and predict injury risk (4).

Stroop Color-Word Test

The Stroop Test is a well-established neuropsychological measure used to assess selective attention, cognitive flexibility, processing speed, and inhibitory control—key components of executive functioning. In this study, a digital version of the SCWT was administered. Participants were asked to name the color of the font in which incongruent color words were written (e.g., the word "BLUE" written in red ink). The task challenges the participant to suppress the automatic process of reading in favor of naming the ink color. The main outcomes recorded were total response time (in seconds), number of errors, and number of corrections. The test has demonstrated strong validity and sensitivity in assessing cognitive control across both healthy and clinical populations (5).

Table 1. Demographic information and mean scores of the questionnaires

		Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	Skewness	Kurtosis
	Age	19.00	45.00	28.69	6.54	.817	.326
	Weight	47.40	84.50	66.02	9.02	.065	-.317
	Height	157.10	187.10	171.17	7.68	.115	-.738
	BMI	17.99	26.39	22.49	2.30	-.144	-1.006
	SRT	6.50	10.00	8.64	0.96	.070	-.828
YBT	Anterior	83.10	106.50	93.80	5.77	.457	-.340
	Posteromedial	126.50	158.20	139.84	9.04	.385	-.847
	Posterolateral	123.40	154.00	137.35	8.30	.187	-.962
	Total Score	112.97	137.37	123.66	7.29	.280	-1.015
SCWT	Total Error	0.00	4.00	1.54	1.01	.694	.455
	Correction	0.00	2.00	0.49	0.66	1.039	.022
	Total time (sec)	74.31	117.92	99.87	9.64	-.395	.248

SCWT: The Stroop Color-Word Test, SRT: The Sitting-Rising Test, YBT: Y-Balance Test

III. RESULTS

The mean age of 35 amateur dancers participating in this study was 28.68 ± 6.54 years, mean height was 171.17 ± 7.67 cm, mean body weight was 66.02 ± 9.02 kg and mean BMI was 22.48 ± 2.30 . The mean score of the SRT, which evaluated the physical performance of the participants, was 8.64 ± 0.96 , and the total score of the Y-Balance test was 123.66 ± 7.29 . The mean duration of the SCWT was 99.87 ± 9.64 seconds. According to the correlation analysis, significant and positive correlations were found between the SRT scores and the sub-dimensions of the Y-Balance test (Anterior: $r = 0.529$, $p = 0.001$; Posteromedial: $r = 0.652$, $p < 0.001$; Posterolateral: $r = 0.487$, $p = 0.003$; Total score: $r = 0.594$, $p < 0.001$). These findings indicate that there is a strong relationship between functional movement ability and balance skills. The sub-dimensions of the Y-Balance test also showed a high correlation among themselves ($r > 0.82$, $p < 0.001$), suggesting that the aspects reflect similar physical competences. On the other hand, there was no statistically significant correlation between total Stroop test time and physical performance tests ($p > 0.05$). Anthropometric measurements such as height and weight were negatively and significantly correlated with the YBT scores. In particular, the correlation between height and YBT total score was quite high ($r = -0.921$, $p < 0.001$). This suggests that body height may negatively affect balance performance. Age and BMI variables were not found to have a significant relationship with test performances in general.

Table 2. Correlation of demographic information of amateur dancers with Sitting-Rising Test, Y-Balance Test and Stroop Test

		Age	Weight	Height	BMI	SRT	YBT Anterior	YBT Posteromedial	YBT Posterolateral	YBT Total Score	SCWT Total time
Age	r	1	-.114	-.087	-.092	.012	.094	.074	-.014	.050	-.149
	p		.513	.619	.601	.945	.591	.671	.937	.774	.394
Weight	r	-.114	1	.665	.755*	-.290	-.697*	-.601*	-.660*	-.683*	.174
	p	.513		<.001	<.001	.091	<.001	<.001	<.001	<.001	.319
Height	r	-.087	.665*	1	.017	-.523*	-.841*	-.905*	-.855*	-.921*	.209
	p	.619	<.001		.923	.001	<.001	<.001	<.001	<.001	.228
BMI	r	-.092	.755*	.017	1	.061	-.195	-.012	-.139	-.109	.060
	p	.601	<.001	.923		.727	.263	.947	.425	.533	.733
SRT	r	.012	-.290	-.523*	.061	1	.529*	.652**	.487*	.594*	-.219
	p	.945	.091	.001	.727		.001	<.001	.003	<.001	.206
YBT Anterior	r	.094	-.697*	-.841**	-.195	.529*	1	.824**	.834*	.921*	-.285
	p	.591	<.001	<.001	.263	.001		<.001	<.001	<.001	.097
YBT Posteromedial	r	.074	-.601*	-.905*	-.012	.652*	.824*	1	.858*	.956*	-.208
	p	.671	<.001	<.001	.947	<.001	<.001		<.001	<.001	.230
YBT Posterolateral	r	-.014	-.660*	-.855*	-.139	.487*	.834*	.858**	1	.954*	-.211
	p	.937	<.001	<.001	.425	.003	<.001	<.001		<.001	.223
YBT Total Score	r	.050	-.683*	-.921*	-.109	.594*	.921*	.956**	.954*	1	-.241
	p	.774	<.001	<.001	.533	<.001	<.001	<.001	<.001		.163
SCWT Total time	r	-.149	.174	.209	.060	-.219	-.285	-.208	-.211	-.241	1
	p	.394	.319	.228	.733	.206	.097	.230	.223	.163	

SCWT: The Stroop Color-Word Test, SRT: The Sitting-Rising Test, YBT: Y-Balance Test

*p<0.05

IV. DISCUSSION

This study aimed to examine the relationship between balance, functional mobility, and cognitive performance among amateur dancers. The findings revealed significant and positive correlations between the SRT, which assesses functional mobility, and all components of the YBT, which evaluates dynamic postural control. These results are consistent with previous literature suggesting that dance training enhances neuromuscular coordination, proprioceptive feedback, and postural strategies that are crucial for maintaining balance (12). The strong correlations observed among the YBT subcomponents (anterior, posteromedial, and posterolateral) further support the test's structural validity, confirming that these directions reflect closely interrelated aspects of balance control (13).

Interestingly, anthropometric measures—particularly body height and weight—showed significant negative correlations with YBT scores. Taller and heavier individuals tended to perform worse on balance tasks, likely due to higher centers of mass and altered postural control demands. These findings align with prior evidence that suggests increased body dimensions may challenge dynamic balance by affecting stability and base of support (10).

On the other hand, no significant associations were found between SCWT performance and any physical function measures. This indicates that executive functions such as attention, inhibition, and cognitive flexibility may operate independently from basic motor control in this population. While some studies have reported that long-term aerobic or dance-based exercise can positively influence cognitive functions (7), others have highlighted that such effects may depend on the cognitive load of the task and duration of training. For example, a recent review study emphasised that only cognitively challenging dance interventions, not general physical activity, improved executive function in older adults (12). Importantly, Stroop test performance—representative of executive function—did not correlate significantly with physical outcomes. This supports an emerging consensus: while structured dance interventions can enhance cognitive domains in older adults, such effects are contingent upon cognitive challenge and duration. For example, a meta-analysis on older adults with mild cognitive impairment found that dance-based interventions significantly improved global cognition, memory, visuospatial function, attention, and

balance (14). These findings imply that general physical or functional motor skills do not automatically transfer to cognitive benefits unless dance training includes cognitively demanding tasks.

In summary, this study supports the notion that balance and functional mobility are closely intertwined capacities in amateur dancers, likely influenced by training-related neuromuscular adaptations. However, the absence of a relationship between physical performance and cognitive control measures like the SCWT suggests that improvements in motor skills do not necessarily transfer to cognitive domains. These findings highlight the importance of designing dance training programs that simultaneously challenge both physical and cognitive systems to achieve broader performance outcomes. This should explore the significance of the results of the work, not repeat them. The results should be drawn together, compared with prior work and/or theory and interpreted to present a clear step forward in scientific understanding. Combined Results and Discussion sections comprising a list of results and individual interpretations in isolation are particularly discouraged.

V. CONCLUSION

Findings suggest a strong relationship between functional mobility and dynamic balance in amateur dancers, but no significant link between physical and executive cognitive performance. These results emphasize the importance of incorporating cognitively challenging components into physical training programs to achieve dual-domain benefits.

REFERENCES

1. Zhang H, Gao Y, Zhang Y, Ma H. Effects of dance interventions on cognitive function, balance, mobility, and life quality in older adults: A systematic review and Bayesian network meta-analysis. *Archives of Gerontology and Geriatrics*. 2025;131:105775.
2. Rodziewicz-Flis EA, Kawa M, Skrobot WR, Flis DJ, Wilczyńska D, Szaro-Truchan M, et al. The positive impact of 12 weeks of dance and balance training on the circulating amyloid precursor protein and serotonin concentration as well as physical and cognitive abilities in elderly women. *Exp Gerontol*. 2022;162:111746.
3. de Brito LBB, Ricardo DR, de Araújo DSMS, Ramos PS, Myers J, de Araújo CGS. Ability to sit and rise from the floor as a predictor of all-cause mortality. *European Journal of Preventive Cardiology*. 2014;21(7):892-8.
4. Shaffer SW, Teyhen DS, Lorenson CL, Warren RL, Koreerat CM, Straseske CA, et al. Y-balance test: a reliability study involving multiple raters. *Mil Med*. 2013;178(11):1264-70.
5. Scarpina F, Tagini S. The Stroop Color and Word Test. *Front Psychol*. 2017;8:557.
6. Rogge AK, Röder B, Zech A, Nagel V, Hollander K, Braumann KM, et al. Balance training improves memory and spatial cognition in healthy adults. *Sci Rep*. 2017;7(1):5661.
7. Mandolesi L, Polverino A, Montuori S, Foti F, Ferraioli G, Sorrentino P, et al. Effects of Physical Exercise on Cognitive Functioning and Wellbeing: Biological and Psychological Benefits. *Front Psychol*. 2018;9:509.
8. Du Q, Song Z, Jiang H, Wei X, Weng D, Fan M. LightSword: A Customized Virtual Reality Exergame for Long-Term Cognitive Inhibition Training in Older Adults 2024. 1-17 p.
9. Chung E-J, Yim J-H. An Integrated Program to Improve Cognitive and Physical Abilities in Older People. *Applied Sciences*. 2025;15(5):2677.
10. Gribble PA, Hertel J. Effect of hip and ankle muscle fatigue on unipedal postural control. *J Electromyogr Kinesiol*. 2004;14(6):641-6.
11. Brito LB, Ricardo DR, Araújo DS, Ramos PS, Myers J, Araújo CG. Ability to sit and rise from the floor as a predictor of all-cause mortality. *Eur J Prev Cardiol*. 2014;21(7):892-8.
12. Hewston P, Kennedy CC, Borhan S, Merom D, Santaguida P, Ioannidis G, et al. Effects of dance on cognitive function in older adults: a systematic review and meta-analysis. *Age Ageing*. 2021;50(4):1084-92.
13. Plisky PJ, Rauh MJ, Kaminski TW, Underwood FB. Star Excursion Balance Test as a Predictor of Lower Extremity Injury in High School Basketball Players. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. 2006;36(12):911-9.
14. Liu C, Su M, Jiao Y, Ji Y, Zhu S. Effects of Dance Interventions on Cognition, Psycho-Behavioral Symptoms, Motor Functions, and Quality of Life in Older Adult Patients With Mild Cognitive Impairment: A Meta-Analysis and Systematic Review. *Frontiers in Aging Neuroscience*. 2021;Volume 13 - 2021.

Effect of butanol and dimethyl ether additive as oxygenated fuels in diesel engine on performance behavior and pollutant formation

Derviş Erol¹ and Halil Erdi Gülcan^{2*}

¹Department of Automotive Technology, Kırıkkale Vocational School, Kırıkkale University, Kırıkkale, Türkiye

²Department of mechanical engineering, Faculty of Technology, Selçuk University, Konya, Türkiye

*(halil.gulcan@selcuk.edu.tr) Email of the corresponding author

Abstract – Oxygenated fuels are among the alternative fuels used to reduce carbon-based emissions (decarbonization) in internal combustion (IC) engines. To standardize their use within conventional fuel systems, it is necessary to improve their performance in IC engines. In this study, the effects of using butanol and diethyl ether (DE) as oxygenated fuel additives on engine performance behavior and pollutant formation in a diesel engine are investigated. The experiments are conducted at constant engine speed under varying loads ranging from 10 Nm to 50 Nm. Butanol is blended at 20% by volume and DE at 10% by volume within the diesel fuel. In this study, three fuel types are used: 100% diesel (D100), 80% diesel + 20% butanol (BUT20), and 70% diesel + 20% butanol + 10% DE (BUT20DE10). The results indicate that the use of oxygenated butanol and DE in diesel fuel negatively affects engine performance. When the diesel engine is operated with fuels containing butanol and butanol+DE within the specified load ranges, it leads to increases in BSFC by 4% and 4.7%, respectively. At 40 Nm, the mixture containing butanol and DE reduces CO emissions by up to 43%. Additionally, the use of oxygenated fuels in diesel increases NO_x emissions by an average of 35%.

Keywords – Butanol, Dimethyl Ether, Engine Performance, Emissions, Oxygenated Fuels.

I. INTRODUCTION

The increasing consumption of carbon-based fossil fuels day by day leads to both rising fuel prices and the release of harmful pollutant gases into the environment. This situation drives research toward the use of cleaner, renewable, cost-effective, and sustainable fuels in IC engines [1, 2]. Oxygenated fuels used today are used in different fractions to reduce carbon emissions without a noticeable deterioration in engine performance behavior [3].

CI engines are used today as proven systems in both power generation and energy production [4]. Although these engines are widely preferred, they suffer from carbon-based emissions and NO_x emissions due to their reliance on fossil-based fuels [5]. However, with technological advancements in recent years, significant improvements such as common rail fuel systems [6], internal EGR [7] during combustion, soot reduction systems (diesel particulate filters) [8], and SCR systems [9] have made these engines even more attractive. Still, the use of fossil fuels results in a significant amount of greenhouse gas (GHG) emissions, and soot emissions in particular continue to pose a serious threat to human health. Therefore, although a full transition to alternative fuels in CI engines has not yet been achieved, diluting fossil-based fuels with oxygenated fuels can contribute to the reduction of carbon emissions [10].

Among oxygenated alcohol fuels, butanol has a higher energy density compared to more commonly used fuels like ethanol and methanol. Additionally, it possesses lower viscosity than short-chain alcohols. Thanks

to its superior lubricating properties, it is well-suited for use in CI engines. Compared to ethanol, it also exhibits lower corrosiveness, making it a more attractive alternative fuel option [11]. Butanol is also classified as a second-generation biofuel. This is because, compared to ethanol and methanol, it is produced from different biomass sources that result in a lower life-cycle GHG emission [12].

Studies in the literature show that diesel engines are turning to various oxygenated alternative fuels to reduce engine emissions and improve engine behavior. For example, Costagliola et al. [13] investigated the effects of butanol addition on emissions in a gasoline engine equipped with a port fuel injection system. Butanol was blended with gasoline at 10% by volume, and the tests were conducted under stoichiometric conditions. The results showed that the use of butanol produced engine emission outputs similar to those of ethanol. Elfasakhany [14] investigated the effects of 3% and 7% butanol additions by volume on an IC engine. The tests were conducted within an engine speed range of 2400 to 3600 rpm. The results showed that the addition of butanol to gasoline significantly reduced carbon-based pollutants such as HC, CO, and CO₂. Song et al. [15] focused on the performance of a fuel blend containing 20% monoglyme and 80% diglyme as a cetane improver and oxygenated additive in a four-cylinder turbocharged direct-injection CI engine. The results showed that the cetane number and oxygen-enhancing additives had significant effects on diesel combustion and markedly reduced soot emissions. Additionally, it was reported that these fuel additives slightly increased NO_x emissions. An et al. [16] investigated the effects of fuel properties such as oxygen concentration, C/H ratio, and cetane number on diesel combustion. The study was conducted through simulations using the KIVA-CHEMKIN code under full load at constant engine speed. The results showed that increasing the oxygen concentration in the fuel led to a reduction in carbon-based emissions (CO and soot) as well as a decrease in NO_x pollutants. Yeom et al. [17] conducted a study on the use of oxygenated alternative fuels in CI engines. The research focused on the evaporation characteristics and combustion effects of emulsified fuels. The results demonstrated that hydrogen peroxide present in the emulsified fuel contributed to the reduction of NO_x and soot emissions due to its latent heat of vaporization and high oxygen concentration. Wei et al. [18] focused on the combustion performance of methanol/diesel blends in a CI engine. The study was conducted on a heavy-duty diesel engine. The results showed that increasing the methanol-to-diesel ratio led to a longer ignition delay and a shorter combustion duration. Additionally, it was emphasized that retarding the diesel injection timing is another parameter that contributes to extending the ignition delay. Zhang et al. [19] focused on the effects of varying methanol content (0% to 40% by volume) in diesel fuel on combustion and emissions in a CI engine. The study was conducted using AVL-BOOST software for simulation, and the results were validated with experimental data. The findings revealed that while engine performance deteriorated with increasing methanol content, the emissions improved significantly. In particular, carbon-based emissions, especially CO and soot, showed a notable reduction as the methanol ratio increased. Zhang and Balasubramanian [20] investigated the effect of butanol addition on engine performance when blended with a diesel–biodiesel mixture. In the study, 20% palm oil methyl ester was used by volume in diesel fuel, and butanol was added in concentrations ranging from 5% to 15% in 5% increments. The results showed that the blend containing 10% butanol significantly improved both BSFC and BTE. Additionally, it was reported that the soot emissions of the butanol-containing blends were considerably lower compared to the diesel–biodiesel mixture without butanol. In addition, several researchers have studied the effects of DE on engine performance and emissions. For example, Subramanian and Ramesh [21] tested diesel fuel blended with DE in the range of 0% to 15% in 5% increments. The results indicated that among the diethyl ether blends, the best BSFC performance was achieved with the 10% DE blend.

In this study, butanol and DE were used as oxygenated fuels to improve the emission characteristics of a CI engine operating on diesel fuel. Butanol was added to diesel at 20% by volume, while DE was added at 10%. Additionally, it is expected that the inclusion of DE would advance the start of combustion and enhance the combustion performance of the diesel–butanol fuel blend.

II. MATERIALS AND METHOD

In this study, the experiments were conducted on a compression ignition engine manufactured by Erin. The Erin engine was mounted on an AC dynamometer produced by Tekzen. The AC dynamometer was precisely controlled to adjust the engine load and speed during the tests. The technical specifications of the Erin brand CI engine are presented below (Table 1).

Table 1. The characteristics of the Erin brand CI engine

Items	Details
Engine type	Water-cooled, direct injection
Cylinder number	1
Swept volume	1160 cm ³
Bore x stroke diameter	108 mm x 127 mm
Compression ratio	14.6:1
Rated power @rpm	18 kW @ 2400 rpm
Rated torque @rpm	80 Nm @ 1800 rpm



Fig. 1. Engine and dynamometer test setup

The experiments were conducted using a Tuzeks brand AC dynamometer, and the engine was loaded in the range of 0 to 50 Nm. In addition, the engine speed was precisely maintained at 1600 rpm using the dynamometer control system. Fuel consumption was measured by recording the volumetric change of fuel in a burette tube with the help of a stopwatch. Based on this volume change, and using the known fuel density, the mass flow rate of the fuel (in kg/s) was calculated. Furthermore, the oil, exhaust, and intake air temperatures were recorded using K-type thermocouples, and the data was logged to a computer via specialized software.

The experiments were conducted using various fuel blends under constant engine speed and variable load conditions (ranging from 10 to 50 Nm), as illustrated in Figure 2. While diesel fuel was procured from a local fuel station in Kırıkkale, butanol and DE were obtained from a local supplier in the same region. Before starting the measurements, the engine was operated under no-load conditions for a certain period to allow it to reach a stable operating temperature. Once the engine oil reached the desired temperature, measurements were initially performed using pure diesel fuel at the load and speed values specified in Table 2. Subsequently, the same diesel experiments were repeated two more times, and the average of the three runs was used for data analysis. Following the diesel tests, the second experimental phase was carried out

using diesel fuel blended with 10% butanol, following the same procedures as in the previous tests. In the final set of experiments, 20% butanol and 10% DE were added to the diesel fuel, and the same testing procedure was repeated under identical operating conditions.

Table 2. Test matrix, fuel blend ratios and abbreviations for fuels containing butanol and DE additives

No	Test speed	Test loads	Diesel	Butanol	Diethyl ether	Abbr.
1	1600	10Nm, 20Nm, 30Nm, 40Nm and 50Nm	100% vol.	-	-	DIESEL
2	1600	10Nm, 20Nm, 30Nm, 40Nm and 50Nm	80% vol.	20% vol.	-	BUT20
3	1600	10Nm, 20Nm, 30Nm, 40Nm and 50Nm	70% vol.	20% vol.	10% vol.	BUT20DE10

III. RESULTS

A. Engine Performance

Figure 2a presents the changes in BSFC for diesel, diesel–butanol, and diesel–butanol–DE blended fuels. As seen, BSFC shows a decreasing trend for all fuels as the load rises from 10 to 40 Nm. Increasing engine load requires more fuel injection into the piston bowl, which raises the combustion temperature. This results in more efficient combustion of the injected fuel and enables the engine to produce the required power with less fuel. On the other hand, the addition of both butanol and butanol + DE to diesel fuel leads to an increase in BSFC. The higher BSFC values for alcohol-blended fuels can be attributed to their lower heating value(LHV) compared to pure diesel fuel. At 10 Nm, where the highest BSFC is recorded, the BSFC of pure diesel fuel is 553.6 g/kWh, while the BSFC of BUT20 and BUT20DE10 fuels increase by 2.8% and 3.4%, respectively. Over the operating range of 10–50 Nm, the BSFC of BUT20 and BUT20DE10 fuels show increases of 4% and 4.7%, respectively, compared to diesel. When 30% of one liter of diesel is replaced with butanol and DE, the increase in BSFC remains below 5%.

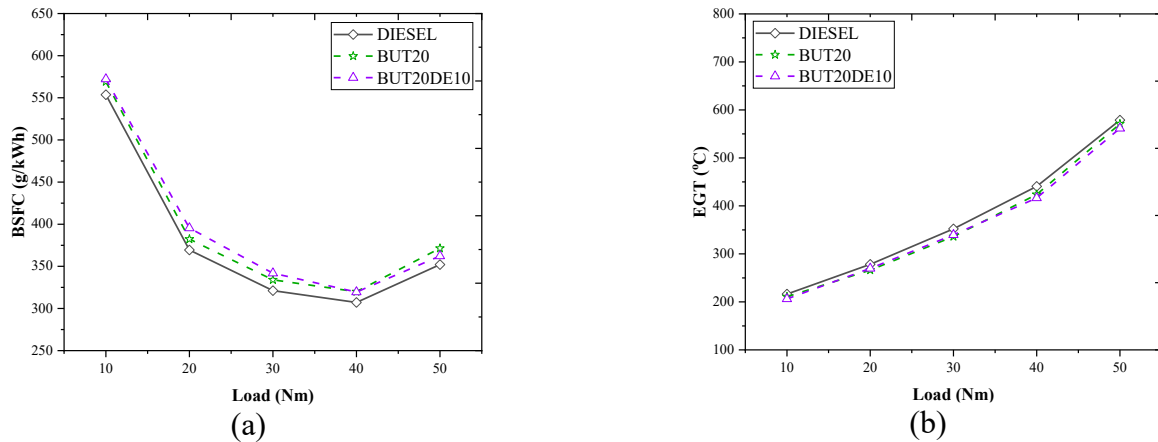


Fig. 2. The effect of butanol and DE addition to diesel on BSFC and EGT

Figure 2b presents the variations in EGT for diesel, diesel–butanol, and diesel–butanol–DE blended fuels. As shown, EGT increases for all fuel types as engine load rises from 10 to 50 Nm. The increase in engine load requires more fuel to be supplied, which in turn raises the temperature of the exhaust gases. Additionally, higher fuel supply extends the combustion duration, causing hotter gases to exit through the

exhaust port. On the other hand, the addition of both butanol and butanol + DE to diesel fuel leads to a reduction in EGT. The decrease in EGT for alcohol-blended fuels is mainly owing to the LHV of the blends compared to pure diesel. When combustion occurs with a fuel that has a LHV, the combustion temperature—and consequently the temperature of the exhaust gases—becomes lower. At 50 Nm, where the highest EGT is recorded, the EGT for diesel fuel is 579°C, while the EGT values for BUT20 and BUT20DE10 fuels are reduced by 1.4% and 3.9%, respectively. Over the entire operating range of 10–50 Nm, the EGT values for BUT20 and BUT20DE10 fuels show reductions of 3.3% and 3.9%, respectively, compared to diesel fuel.

B. Engine-out Emissions

Figure 3 presents the variations in CO for diesel, diesel–butanol, and diesel–butanol–DE blended fuels. At 10 Nm and 20 Nm engine loads, CO emissions are nearly the same for all fuel types. However, as the engine load increases to 30 Nm, 40 Nm, and 50 Nm, a noticeable change occurs. For example, at 30 Nm, the CO emissions of BUT20 and BUT20DE10 fuels decrease by 24.5% and 28.6%, respectively, compared to DIESEL fuel. The highest reduction is observed at 40 Nm with BUT20DE10 fuel, reaching 43.4%. When the engine load reaches 50 Nm, the presence of excessive fuel vapor in the combustion region—combined with over-fueling—tends to choke the engine and disrupt combustion. This leads to a significant increase in CO emissions. At 50 Nm, CO emissions increase by more than 100% compared to DIESEL combustion.

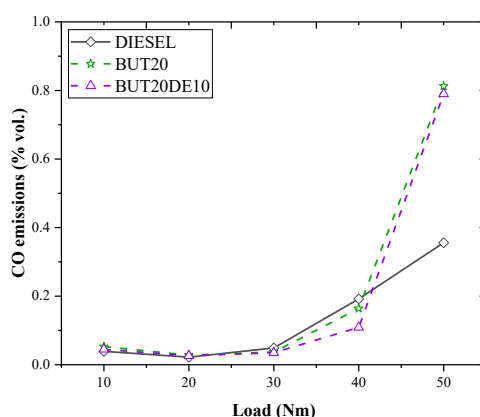


Fig. 3. The effect of butanol and DE addition to diesel on CO emissions

Figure 4 presents the variations in CO₂ for diesel, diesel–butanol, and diesel–butanol–DE blended fuels. Between 10 Nm and 30 Nm, no significant change is observed in CO₂ emissions. However, after 30 Nm, CO₂ emissions tend to decrease for DIESEL fuel and increase for BUT20 and BUT20DE10 fuels. The primary reason for the rise in CO₂ emissions at 40 Nm and 50 Nm with blended fuels is the increased fuel consumption required by BUT20 and BUT20DE10. The oxygen content of butanol and DE supports the conversion of carbon to CO₂ instead of CO. However, the lower calorific values of butanol and DE lead to higher fuel consumption. As a result, large amounts of carbon and oxygen accumulate in the combustion region and react, causing CO₂ emissions to increase. At 50 Nm, where the highest CO₂ levels are recorded, the CO₂ emissions for DIESEL, BUT20, and BUT20DE10 fuels are 5.03%, 10.6%, and 10.1%, respectively.

Figure 5 presents the variations in HC for diesel, diesel–butanol, and diesel–butanol–DE blended fuels. The use of butanol and DE in diesel fuel leads to an increase in HC emissions. Although butanol and DE contain oxygen in their structure, carbon-based emissions tend to rise. The main reason for this is that these additives reduce the heating value and viscosity of the fuel. Additionally, the higher-octane number of butanol compared to diesel makes combustion more difficult. These factors collectively worsen the combustion quality of butanol and DE blends and cause increased fuel consumption. As a result, carbon-based emissions show a noticeable rise. Within the operating range of 10 Nm to 50 Nm, the HC emissions of BUT20 and BUT20DE10 fuels increase by an average of 10% and 38%, respectively, compared to DIESEL combustion.

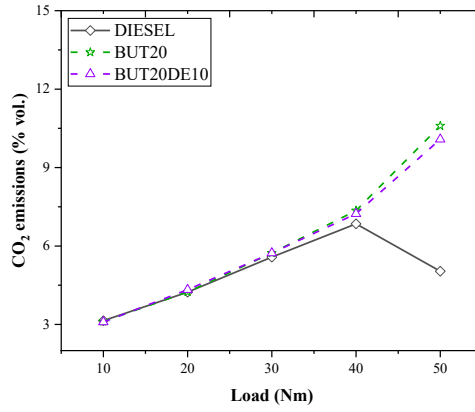


Fig. 4. The effect of butanol and DE addition to diesel on CO₂ emissions

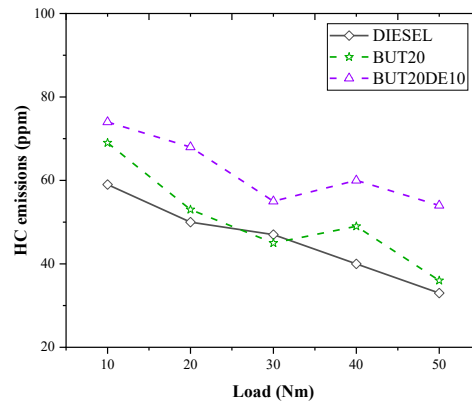


Fig. 5. The effect of butanol and DE addition to diesel on HC emissions

Figure 6 presents the variations in NO_x for diesel, diesel–butanol, and diesel–butanol–DE blended fuels. NO_x emissions peak between 10 Nm and 30 Nm, but show a decreasing trend for all fuel types after 30 Nm. Up to 30 Nm, the increase in oxygen content and combustion temperatures in the combustion chamber promotes NO_x formation. However, after 30 Nm, the higher amount of fuel injected into the combustion chamber results in a richer mixture, which reduces the available oxygen and consequently leads to a decrease in NO_x emissions. The highest NO_x emission is recorded at 30 Nm with the BUT20 fuel, while the lowest NO_x emission is observed at 50 Nm with the DIESEL fuel. At 30 Nm, compared to DIESEL combustion, the NO_x emissions of BUT20 and BUT20DE10 fuels increase by 27% and 14%, respectively. At 50 Nm—where the lowest NO_x emissions are recorded—the NO_x emissions of BUT20 and BUT20DE10 fuels are 123% and 128% higher than DIESEL, respectively. Across the entire operating range of 10–50 Nm, the average increase in NO_x emissions for BUT20 and BUT20DE10 compared to DIESEL is 36% and 34.8%, respectively.

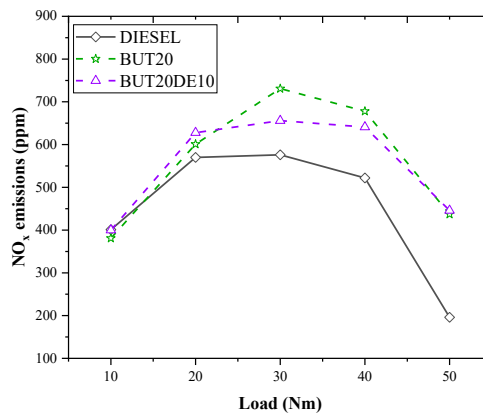


Fig. 6. The effect of butanol and DE addition to diesel on NO_x emissions

IV. CONCLUSION

In this experimental study, the integration of oxygenated fuels into diesel engine operation was investigated using different blend ratios on a single-cylinder Erin brand CI engine. The tests were conducted at varying load conditions (from 10 to 50 Nm) and a constant engine speed of 1600 rpm to examine engine performance behaviour and emission output. In addition to 100% diesel (DIESEL) fuel, oxygenated fuel blends consisting of 20% butanol (BUT20) and 10% diethyl ether (DE10) were used for comparison. The main findings are presented below in bullet points.

- The addition of oxygenated fuels to diesel increases the BSFC. The use of 20% butanol increases BSFC by up to 5.5% at 50 Nm, while the addition of DE to the diesel-butanol blend results in a 2.9% increase in BSFC at the same load. However, when evaluated across the specified load range, the use of butanol + DE leads to a greater increase in BSFC compared to using butanol alone.
- Both butanol and the butanol + DE blend reduce the EGT. While the addition of butanol alone reduces EGT by an average of 3%, the inclusion of 10% DE in the diesel-butanol blend results in an average EGT reduction of 3.9%.
- The low calorific value, high octane number, and vapor pressure of butanol and DE contribute to the deterioration of engine performance. Furthermore, as the amount of oxygenated fuel in the blend increases, the energy density decreases, leading to lower combustion temperatures, and consequently, a tendency for a reduction in EGT.
- The addition of butanol and DE tends to reduce carbon-based emissions, specifically CO emissions. However, this reduction trend is observed only up to 40 Nm. As the engine transitions from 40 Nm to 50 Nm, the increased fuel consumption leads to the formation of richer mixtures, resulting in a tendency for CO emissions to increase. The highest reduction in CO emissions is recorded at 40 Nm, with a decrease of 43% using the BUT20DE10 fuel blend.
- The addition of butanol and DE also leads to an increase in CO₂, HC, and NO_x emissions. Although the fuels contain oxygen, the increased fuel consumption causes more carbon-based compounds to react, thereby increasing CO₂ emissions. Furthermore, HC emissions arise due to poor combustion conditions and lower combustion temperatures. NO_x emissions, on the other hand, increase as a result of the oxygen content in the oxygenated fuels and longer combustion durations.

ACKNOWLEDGMENT

The authors sincerely thank the Scientific Research Projects Coordination Unit of Kırıkkale University for providing financial support under Project Numbers 2023/080 and 2023/093.

REFERENCES

- [1] Ibrahim A. Investigating the effect of using diethyl ether as a fuel additive on diesel engine performance and combustion. *Applied Thermal Engineering* 2016;107:853-62.
- [2] Devaraj J, Robinson Y, Ganapathi P. Experimental investigation of performance, emission and combustion characteristics of waste plastic pyrolysis oil blended with diethyl ether used as fuel for diesel engine. *Energy* 2015;85:304-9.
- [3] El-Adawy M, Ibrahim A, El-Kassaby M. An experimental evaluation of using waste cooking oil biodiesel in a diesel engine. *Energy Technology* 2013;1(12):726-34.
- [4] Giakoumis EG, RAKOPOULOS CD. Diesel engine transient operation: principles of operation and simulation analysis. Springer-Verlag; 2009.
- [5] Rakopoulos DC, Rakopoulos CD, Giakoumis EG, Dimaratos AM. Characteristics of performance and emissions in high-speed direct injection diesel engine fueled with diethyl ether/diesel fuel blends. *Energy* 2012;43(1):214-24.
- [6] Gülcan HE. Effect of intake valve lift and binary alcohol (bioethanol+ isobutanol) addition on energy, exergy, sustainability, greenhouse gas impact and cost analysis in a hydrogen/diesel dual fuel engines. *International Journal of Hydrogen Energy* 2024;77:450-71.

- [7] Abu-Jrai A, Rodríguez-Fernández J, Tsolakis A, Megaritis A, Theinnoi K, Cracknell R, et al. Performance, combustion and emissions of a diesel engine operated with reformed EGR. Comparison of diesel and GTL fuelling. *Fuel* 2009;88(6):1031-41.
- [8] Levendis YA, Pavlatos I, Abrams RF. Control of diesel soot, hydrocarbon and NO_x emissions with a particulate trap and EGR. SAE Technical Paper; 1994.
- [9] Grossale A, Nova I, Tronconi E. Study of a Fe-zeolite-based system as NH₃-SCR catalyst for diesel exhaust aftertreatment. *Catalysis Today* 2008;136(1-2):18-27.
- [10] Gülcan HE. Effect of methane injection strategy on combustion, exergetic performance, and enviro-economic analyses in a diesel/methane CRDI engine. *Applied Thermal Engineering* 2024;243:122654.
- [11] Lapuerta M, Ballesteros R, Barba J. Strategies to introduce n-butanol in gasoline blends. *Sustainability* 2017;9(4):589.
- [12] Pereira LG, Chagas MF, Dias MO, Cavalett O, Bonomi A. Life cycle assessment of butanol production in sugarcane biorefineries in Brazil. *Journal of Cleaner Production* 2015;96:557-68.
- [13] Costagliola M, De Simio L, Iannaccone S, Prati M. Combustion efficiency and engine out emissions of a SI engine fueled with alcohol/gasoline blends. *Applied energy* 2013;111:1162-71.
- [14] Elfasakhany A. Experimental study on emissions and performance of an internal combustion engine fueled with gasoline and gasoline/n-butanol blends. *Energy Conversion and Management* 2014;88:277-83.
- [15] Song J, Cheenkachorn K, Wang J, Perez J, Boehman AL, Young PJ, et al. Effect of oxygenated fuel on combustion and emissions in a light-duty turbo diesel engine. *Energy & fuels* 2002;16(2):294-301.
- [16] An H, Yang W, Li J, Zhou D. Modeling study of oxygenated fuels on diesel combustion: Effects of oxygen concentration, cetane number and C/H ratio. *Energy Conversion and Management* 2015;90:261-71.
- [17] Yeom J-K, Jung S-H, Yoon J-H. An experimental study on the application of oxygenated fuel to diesel engines. *Fuel* 2019;248:262-77.
- [18] Wei L, Yao C, Han G, Pan W. Effects of methanol to diesel ratio and diesel injection timing on combustion, performance and emissions of a methanol port premixed diesel engine. *Energy* 2016;95:223-32.
- [19] Zhang Z, Tian J, Li J, Ji H, Tan D, Luo J, et al. Effects of different mixture ratios of methanol-diesel on the performance enhancement and emission reduction for a diesel engine. *Processes* 2021;9(8):1366.
- [20] Zhang Z-H, Balasubramanian R. Influence of butanol addition to diesel-biodiesel blend on engine performance and particulate emissions of a stationary diesel engine. *Applied Energy* 2014;119:530-6.
- [21] Subramanian K, Ramesh A. Operation of a compression ignition engine on diesel-diethyl ether blends. *Internal Combustion Engine Division Fall Technical Conference*. 46628. 2002:353-60.

Volumetric Evaluation of the Shpirag Structure Using Digitized Isopach Mapping and Statistical Methods

Erison Karamani^{1*}, Ortenca Gropa² and Raziela Zema³

¹Department of Energy Resources/Faculty of Geology and Mining, Polytechnic University of Tirana, Albania

²Department of Energy Resources/Faculty of Geology and Mining, Polytechnic University of Tirana, Albania

³Department of Energy Resources/Faculty of Geology and Mining, Polytechnic University of Tirana, Albania

*(erison.karamani@fgjm.edu.al) Email of the corresponding author

Abstract – This study presents a detailed volumetric reassessment of the Shpirag structure in Albania's Ionian Zone, aimed at resolving uncertainties in prior hydrocarbon reserve estimates. Utilizing a digitized isopach map, originally prepared by faculty at the Polytechnic University of Tirana and processed with AutoCAD and Raster Tools, we calculated the rock volume of the oil-saturated reservoir using three distinct methods: basic trapezoidal, multi-trapezoidal, and regression-based integration. The multi-trapezoidal and regression methods provided consistent rock volume estimates of approximately 15.4 billion m³, compared to 16.9 billion m³ from the basic trapezoidal method, highlighting the latter's tendency to overestimate in complex geometries. For the P50 (most likely) probability case, these refined volumes yielded an Original Oil In Place (OOIP) of approximately 269–270 million m³ and recoverable reserves of 80.7–80.9 million m³, based on porosity, saturation, and recovery factor inputs. These findings underscore the efficacy of advanced volumetric techniques in enhancing reserve estimation accuracy for structurally complex reservoirs, offering critical insights for future exploration and development strategies in the Shpirag field.

Keywords – Shpirag Structure, Hydrocarbon Reserves, Volumetric Evaluation, Isopach Mapping, Digitized Mapping.

I. INTRODUCTION

The Shpirag structure lies in the easternmost sector of the Berat fold belt, a broad, gently plunging anticline within Albania's Ionian Zone, underlain by Upper Triassic–Eocene carbonates and overlain by Oligocene flysch–flyschoid sandstones that together form the principal reservoir and seal sequence of the subthrust system [1, 2].

In 2001, Occidental Petroleum drilled the Shpirag 1 well to a depth of 5055 m, finding signs of oil in both Triassic and Eocene rock layers [3]. In 2013, Petromanas Energy and Shell drilled the Shpirag 2 well to 5553 m. This well reached a 400 m thick reservoir within an 800 m oil column. After acid treatment, it produced 1500–2200 barrels of oil equivalent per day, including 800–1300 barrels of 35–37° API oil and 2–5 million cubic feet of gas daily, with a gas-to-oil ratio of 2500–2800 standard cubic feet per barrel, 5000 ppm H₂S, and no water [4, 5]. A 30-day pressure test confirmed light oil in a highly fractured carbonate reservoir. However, later wells (Shpirag 3, 4, and 5, drilled by Shell from 2016 to 2023) failed to produce commercial flow rates, leading Shell to exit Albania in early 2024 [6].

This discrepancy between initial promise and commercial outcome underscores significant uncertainty in the estimated recoverable volumes. Conventional volumetric assessments, reliant on simplified structural

models and limited well control, appear insufficient to capture the complex heterogeneity and compartmentalization likely influencing reservoir performance at Shpirag [7]. A rigorous, data-driven re-evaluation of the in-place hydrocarbon volume is therefore critical to resolving these uncertainties and informing future decisions.

This study presents a comprehensive volumetric reassessment of the Shpirag structure, specifically leveraging digitized isopach mapping and statistical methods to address key limitations of prior estimates. We focus on refining the most uncertain parameter in the fundamental volumetric equation ($OOIP = V_{rock} \times \phi \times (1 - S_w) / B_{oil}$): the rock volume (V_{rock}) [8]. By digitizing dense structural and isopach data across the entire anticline, we generate high-resolution spatial models of reservoir thickness and geometry. We then systematically evaluate volume uncertainty using multiple geometric calculation scenarios (trapezoidal, multi-trapezoidal, integral) coupled with statistical analysis of input parameters to derive robust P90, P50, and P10 estimates of Original Oil In Place (OOIP). This approach provides a more nuanced and probabilistically constrained understanding of the Shpirag resource base.

II. MATERIALS AND METHOD

This study is based on an isopach map of the Shpirag structure, prepared by lecturers at the Faculty of Geology and Mining in Tirana based on internal teaching materials publicly displayed within the institution. The map reflects a synthesis of geological studies and structural interpretations developed over several decades, based on both regional mapping and early exploratory work in the area. The drilling of the Shpirag 1 well later served to confirm key aspects of the structure's geometry and stratigraphy. While more recent data from deeper wells (Shpirag 2 to Shpirag 5) remain confidential, the existing map remains a robust basis for preliminary volumetric estimation, as such analyses prioritize the overall structural configuration over fine-scale precision.

The isopach map was digitized using AutoCAD with Raster Tools. After georeferencing and scale calibration, the contour lines were traced into vector format and assigned corresponding thickness values. These digitized contours were then used to calculate the surface area of each interval, which formed the input for volumetric calculations using both the trapezoidal method and regression-based surface–thickness integration.

To estimate the hydrocarbon reserves using the trapezoidal method, the workflow was divided into three main steps. First, the digitized isopach map in AutoCAD was used to construct Table 1 (page 3), linking reservoir surface area to corresponding depth (or elevation) values.

This produced a dataset of the form $S = f(T)$, where S is the surface area of the reservoir at a given isopach elevation (H) and T represents the thickness of the structure. The gas–oil contact is located at approximately 4700 m, while the oil–water contact lies at 5200 m. To improve the correlation between surface area and thickness, the full hydrocarbon-bearing interval from 4200 m to 5200 m was initially considered. However, for volumetric calculations of oil reserves, only the oil-saturated section—from 4700 m to 5200 m—is taken into account, as this represents the effective reservoir volume. The rock volume was calculated in three different ways:

A. From these surface-area values, the rock volume (V_{rock}) was initially estimated using the basic trapezoidal formula:

$$V_{rockA} = \frac{S_{11} + S_{21}}{2} * (T_{21} - T_{11}) \quad (1)$$

B. However, since the geometry of the Shpirag structure is highly irregular, a more accurate approximation was obtained using the multi-trapezoidal method, which applies the trapezoidal formula iteratively between each pair of adjacent isopach intervals. This approach allows for smoother integration across the structure's full thickness and avoids oversimplifying its shape.

$$V_{rockB} = \sum_{i=11}^{21} \frac{S_i + S_{i+1}}{2} * (T_{i+1} - T_i) \quad (2)$$

C. To further refine the volume estimate, the relationship between surface area and thickness was analyzed and fitted using regression techniques. A continuous function $S = S(T)$ was derived based on the distribution of points, and volume was calculated through definite integration:

$$V_{rockC} = \int_{T_{11}}^{T_{21}} S(T) dT \quad (3)$$

To establish the relationship between surface area and reservoir thickness, a regression analysis was performed using the least squares method. Several polynomial functions of varying degrees were tested to approximate the correlation $S = f(T)$, and the function with the highest coefficient of determination (R^2) was selected for volume integration. Although surface area values from 4200 m to 5200 m were used to improve the robustness of the correlation, only the thickness interval between 4700 m and 5200 m—corresponding to the oil-saturated zone—was integrated to calculate the effective reservoir volume.

Table 1. Digitized isopach data from the Shpirag structure, showing elevation (H), corresponding reservoir thickness (T), and surface area (S) at each isopach interval. The values were extracted from the AutoCAD model and used for volumetric calculations. Source: Raziela Zema (*coAuthor*)

Nr	H (Isopach Elevation) [m]	T (Thickness) [m]	S (Isopach Surface Area) [m ²]
1	4200	0	1,310,000
2	4250	50	3,420,000
3	4300	100	6,840,000
4	4350	150	10,070,000
5	4400	200	13,300,000
6	4450	250	14,335,000
7	4500	300	15,370,000
8	4550	350	16,635,000
9	4600	400	17,900,000
10	4650	450	19,115,000
11	4700	500	20,330,000
12	4750	550	21,910,000
13	4800	600	23,490,000
14	4850	650	25,675,000
15	4900	700	27,860,000
16	4950	750	29,480,000
17	5000	800	31,100,000
18	5050	850	33,240,000
19	5100	900	38,620,000
20	5150	950	43,220,000
21	5200	1000	47,110,000

Once the rock volume was determined using three different methods, the geological reserves—equivalent to the Original Oil In Place (OOIP) for this unexploited structure—and the recoverable reserves were calculated using the following standard formulas:

$$Geological\ Reserves = OOIP = \frac{V_{rock} \times \phi \times (1 - S_{wi})}{B_{oil}} \quad (4)$$

$$Recoverable\ Reserves = OOIP * \varepsilon = \frac{V_{rock} \times \phi \times (1 - S_{wi})}{B_{oil}} * \varepsilon \quad (5)$$

Where:

V_{rock} – volume of the oil saturated rock;

ϕ – rock porosity;

S_{wi} – initial water saturation;

B_{oil} – oil formation volume factor;

ε - recovery factor;

Porosity, saturation, and formation volume factor values were selected based on available laboratory and geophysical data, and classified by confidence levels for probabilistic reserve estimation. For instance, porosity was taken as 2%, 3%, and 4% for P90, P50, and P10 cases, respectively. The recovery factor (ε) was assigned by analogy with similar carbonate reservoirs, accounting for oil type, reservoir drive, permeability, and other key production characteristics. The full set of input parameters is presented in Table 2.

Table 2. Input parameters by probability case used for OOIP and recoverable reserve estimations.

Probability Case	Reservoir Porosity (ϕ)	Oil Saturation ($1 - S_{wi}$)	Oil Formation Volume Factor (β)	Recovery Factor (ε)
High (P90)	2%	65%	1.05	0.25
Most Likely (P50)	3%	70%	1.20	0.30
Low (P10)	4%	75%	1.25	0.40

III. RESULTS

- *AutoCAD map and model:*

The digitized isopach map of the Shpirag structure, developed using AutoCAD and Raster Tools, is presented in Figure 1. The original map—prepared by faculty staff—displays full 100-meter isopach intervals between 4200 m and 5200 m. However, AutoCAD’s interpolation capabilities were used to generate intermediate surfaces at 50-meter intervals, which enabled more refined volumetric calculations. These interpolated values were used to construct the surface–thickness dataset presented in Table 1.

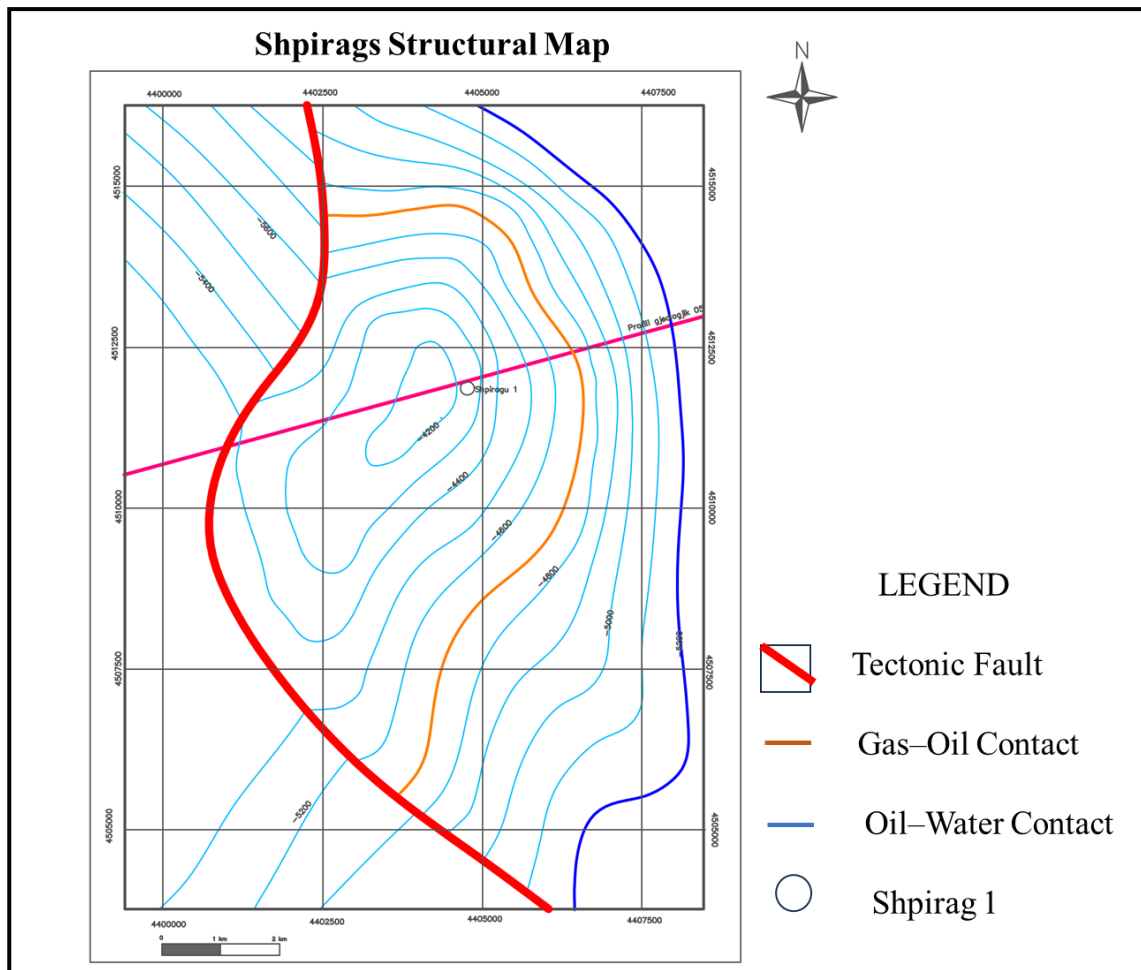


Figure 1. Digitized isopach map of the Shpirag structure, developed using AutoCAD and Raster Tools.

A simplified 3D model of the structure was also developed in AutoCAD to visually represent the geometry of the reservoir (see Figure 2). The model clearly illustrates the overall anticlinal configuration and helps visualize the hydrocarbon distribution. The gas-oil contact (GOC) is observed at approximately 4700 m, while the oil-water contact (OWC) lies at around 5200 m—both of which are distinguishable in the model and map.

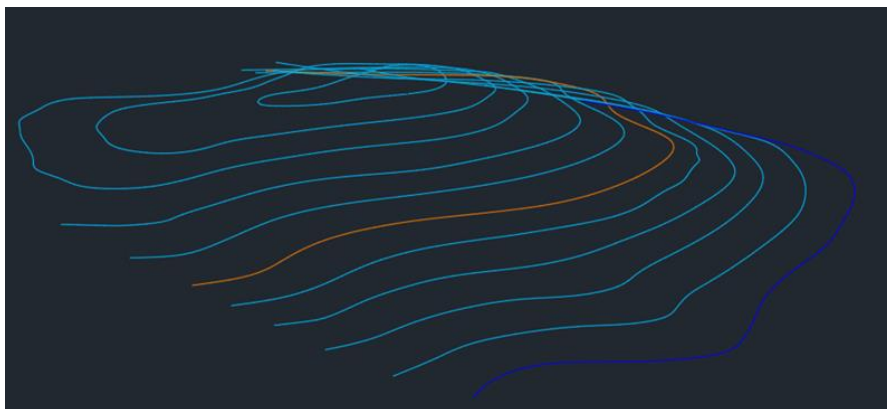


Figure 2. Simplified 3D structural model of the Shpirag reservoir created in AutoCAD

While the 3D model is not intended to serve as a detailed geological simulation, it effectively supports the interpretation of the structure's geometry and provides spatial context for the volumetric methods applied.

- **Rock volumes calculation:**

According to the trapezoidal method, the rock volume was calculated as follows:

$$V_{rockA} = \frac{S_{11} + S_{21}}{2} * (T_{21} - T_{11}) = \frac{20,330,000m^2 + 47,110,000m^2}{2} * (1000m - 500m) \\ = 16,860,000,000 m^3$$

According to the multi-trapezoidal method, the rock volume was calculated as shown in Table 3:

Table 3. Rock volume calculation using the multi-trapezoidal method.

H [m]	T [m]	S [m ²]	Interval Thickness [m]	Interval Volume [m ³]
4700	500	20,330,000	-	-
4750	550	21,910,000	50	1,056,000,000
4800	600	23,490,000	50	1,135,000,000
4850	650	25,675,000	50	1,229,125,000
4900	700	27,860,000	50	1,338,375,000
4950	750	29,480,000	50	1,433,500,000
5000	800	31,100,000	50	1,514,500,000
5050	850	33,240,000	50	1,743,000,000
5100	900	38,620,000	50	2,046,000,000
5150	950	43,220,000	50	2,258,250,000
5200	1000	47,110,000	50	2,470,500,000
Total				15,415,750,000

$$V_{rockB} = \sum_{i=11}^{21} \frac{S_i + S_{i+1}}{2} * (T_{i+1} - T_i) = 15,415,750,000 m^3$$

By applying numerical approximation methods, specifically the method of least squares, we obtain:

a) Linerar regression: $S(T)=2.359 \times 10^6 + 3.912 \times 10^4 \cdot T$ ($R^2=0.9652$);

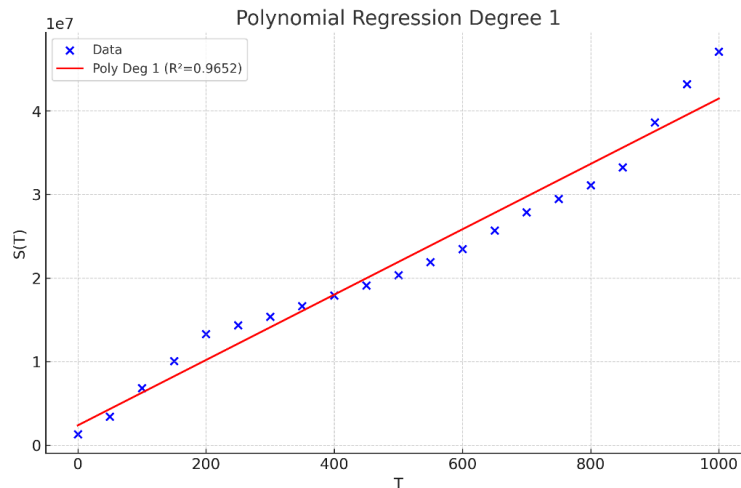


Figure 3. Linear Fitting of S(T).

b) Quadratic regression: $S(T)=4.464\times10^6+2.583\times10^4\cdot T+1.329\times10^1\cdot T^2$ ($R^2=0.9733$);

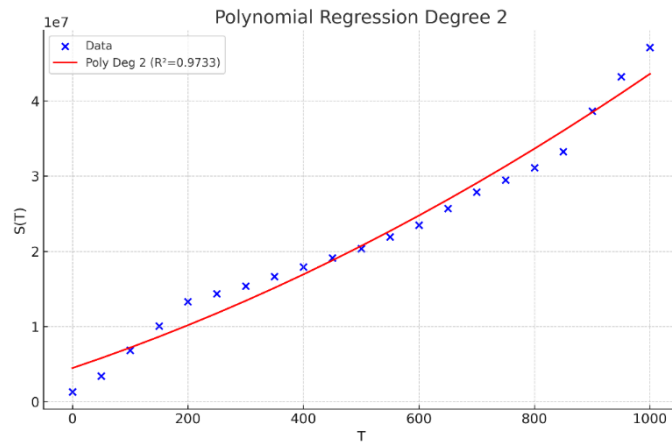


Figure 4. Quadratic Fitting of S(T).

c) Cubic regression: $S(T)=7.569\times10^5+7.660\times10^4\cdot T-1.168\times10^2\cdot T^2+8.672\times10^{-2}\cdot T^3$ ($R^2=0.9973$);

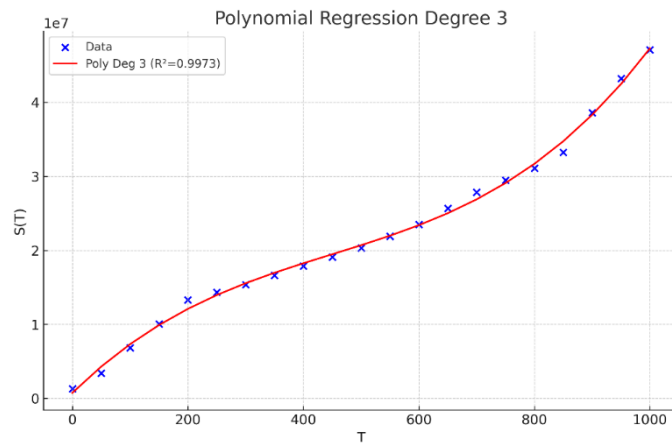


Figure 5. Cubic Fitting of S(T).

d) Quartic regression: $S(T)=7.704\times10^5+7.626\times10^4\cdot T-1.151\times10^2\cdot T^2+8.411\times10^{-2}\cdot T^3+1.305\times10^{-6}\cdot T^4$ ($R^2=0.99734$, slightly better than cubic regression);

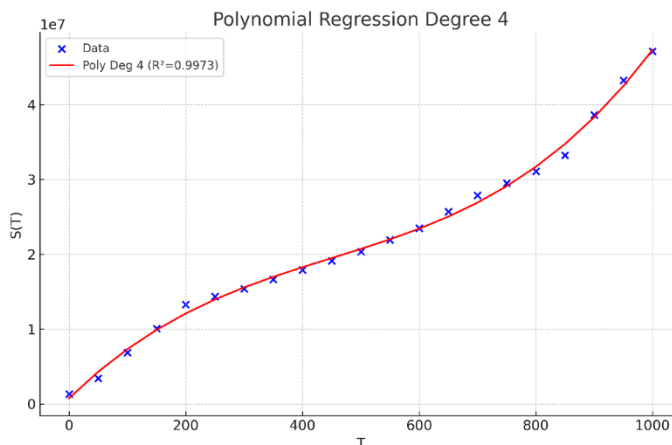


Figure 6. Quartic Fitting of S(T).

e) Power regression: $S(T)=1.852\times10^5\cdot T^{0.773}$ ($R^2=0.9395$);

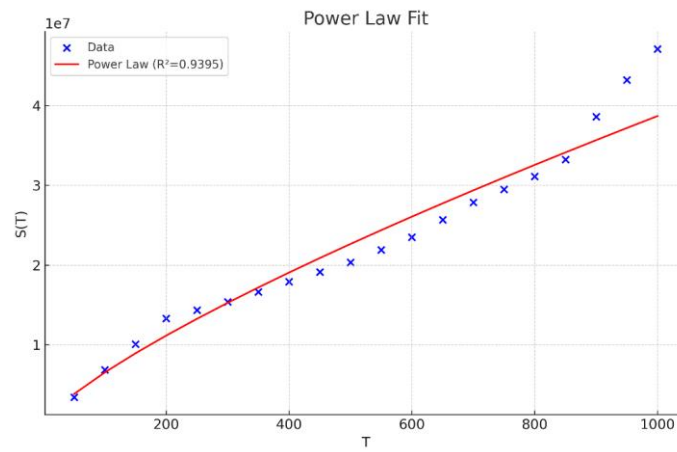


Figure 7. Power Law Fitting of S(T).

f) Exponential regression: $S(T)=5.090\times10^6\cdot e^{0.00244\cdot T}$ ($R^2=0.8351$);

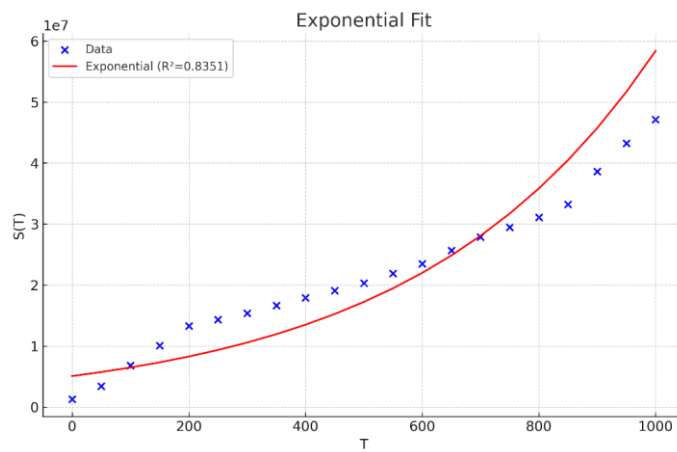


Figure 8. Exponential Fitting of S(T).

g) Logarithmic regression: $S(T)=1.292\times10^7\cdot\ln(T)-5.495\times10^7$ ($R^2=0.8038$);

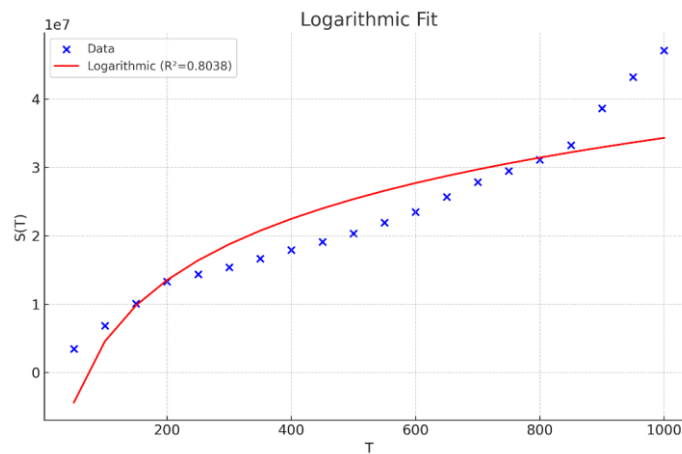


Figure 9. Logarithmic Fitting of S(T).

Among the various models tested for fitting the function $S(T)$, including linear, quadratic, cubic, quartic, power law, exponential, and logarithmic forms, the quartic regression model (4th-degree polynomial) demonstrated the best performance. With an R^2 value of 0.9973, it provided an excellent fit to the data, capturing both the general trend and subtle nonlinear variations across the full thickness range. While the cubic model yielded a similar R^2 , the quartic regression offered slightly improved accuracy, particularly in the higher range of T . Therefore, the quartic model was selected as the most appropriate representation of $S(T)$ for this dataset.

$$V_{rockC} \int_{500}^{1000} (7.704 \times 10^5 + 7.626 \times 10^4 \cdot T - 1.151 \times 10^2 \cdot T^2 + 8.411 \times 10^{-2} \cdot T^3 + 1.305 \times 10^{-6} \cdot T^4) dT = 15,377,991,663 m^3$$

- Reserves Calculation:

For all three rock volumes that were calculated now we have calculated the geological and recoverable reserves.

Table 4. Geological and Recoverable reserves based on the rock volume calculated by the trapezoidal method.

Parameter	P90	P50	P10
Rock Volume A (m ³)	16,860,000,000	16,860,000,000	16,860,000,000
Oil Saturation (%)	65	70	75
Porosity ϕ (%)	2	3	4
Oil Formation Volume Factor (B _{oil})	1.05	1.2	1.25
Recovery Factor (ϵ)	0.25	0.3	0.4
Geological Reserves (m ³)	208,742,857	295,050,000	404,640,000
Recoverable Reserves (m ³)	52,185,714	88,515,000	161,856,000

Table 5. Geological and Recoverable reserves based on the rock volume calculated by the multi-trapezoidal method.

Parameter	P90	P50	P10
Rock Volume B (m ³)	15,415,750,000	15,415,750,000	15,415,750,000
Oil Saturation (%)	65	70	75
Porosity ϕ (%)	2	3	4
Oil Formation Volume Factor (B _{oil})	1.05	1.2	1.25
Recovery Factor (ϵ)	0.25	0.3	0.4
Geological Reserves (m ³)	190,861,667	269,775,625	369,978,000
Recoverable Reserves (m ³)	47,715,417	80,932,688	147,991,200

Table 6. Geological and Recoverable reserves based on the rock volume calculated by the correlation method.

Parameter	P90	P50	P10
Rock Volume C (m ³)	15,377,991,663	15,377,991,663	15,377,991,663
Oil Saturation (%)	65	70	75
Porosity ϕ (%)	2	3	4
Oil Formation Volume Factor (B _{oil})	1.05	1.2	1.25
Recovery Factor (ϵ)	0.25	0.3	0.4
Geological Reserves (m ³)	190,394,182	269,114,854	369,071,800
Recoverable Reserves (m ³)	47,598,546	80,734,456	147,628,720

IV. DISCUSSION

The volumetric reassessment of the Shpirag structure demonstrates the significant impact of methodological choices on reserve estimation in geologically complex settings. The basic trapezoidal method, yielding a rock volume of 16.86 billion m³, appears to overestimate the reservoir's capacity, likely due to its inability to adequately capture the irregular anticlinal geometry of the Shpirag structure. In contrast, the multi-trapezoidal and regression-based methods, with estimates of 15.42 billion m³ and 15.38 billion m³ respectively, offer more consistent and reliable results. This convergence suggests that these advanced techniques better accommodate the spatial variability and thickness transitions observed in the digitized isopach data, aligning with the need for precision in heterogeneous carbonate reservoirs.

The probabilistic framework employed—spanning P90 (high confidence), P50 (most likely), and P10 (low confidence) cases—further enriches the analysis by quantifying uncertainty in key parameters such as porosity (2–4%), oil saturation (65–75%), and recovery factor (0.25–0.40). For the P50 scenario, the OOIP ranges from 269 to 295 million m³, with recoverable reserves between 80.7 and 88.5 million m³, depending on the volume calculation method. These estimates provide a more nuanced perspective than previous assessments, potentially explaining the inconsistent drilling outcomes reported (e.g., Shpirag 2's promising flow rates versus the commercial failures of Shpirag 3, 4, and 5). The lower reserve figures from the advanced methods may reflect compartmentalization or connectivity issues not captured in earlier models, a hypothesis that warrants further investigation with subsurface data.

This study's reliance on a faculty-prepared isopach map, validated by early drilling (e.g., Shpirag 1), introduces some limitations, as more recent well data (Shpirag 2 to 5) remain confidential. While the map provides a robust structural foundation, integrating modern well logs and seismic data could refine thickness and porosity distributions, potentially altering the reserve estimates. Nevertheless, the methodology showcased here—combining digitized mapping with statistical rigor—sets a valuable precedent for reassessing legacy fields with limited public data. The implications extend beyond Shpirag, offering a scalable approach for similar reservoirs in the Ionian Zone and informing risk assessment and investment decisions in Albania's hydrocarbon sector.

V. CONCLUSION

This study successfully reevaluates the hydrocarbon potential of the Shpirag structure through the integration of digitized isopach mapping and statistical methods, delivering refined estimates of rock volume, OOIP, and recoverable reserves. The adoption of multi-trapezoidal and regression-based techniques, yielding rock volumes of approximately 15.4 billion m³, corrects the overestimation inherent in the basic trapezoidal method and enhances confidence in the resulting P50 reserve figures of 269–270 million m³ OOIP and 80.7–80.9 million m³ recoverable. By addressing uncertainties with a probabilistic approach, this work highlights the critical role of advanced computational tools in volumetric analysis of complex geological structures. These findings provide a clearer, data-driven foundation for future

exploration and development efforts at Shpirag, contributing to a more informed understanding of Albania's energy resources and their sustainable exploitation.

REFERENCES

- [1] T. Velaj, "The Structural Style and Hydrocarbon Exploration of the Subthrust in the Berati Anticlinal Belt, Albania," *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, vol. 5, p. 123–145, 2015.
- [2] T. Velaj, "About the Perspective of Exploration of the Oil and Gas in Subthrust of External Albanides, Albania," *Archives of Petroleum & Environmental Biotechnology*, p. 127, 2018.
- [3] M. N. ., D. S. Prifti I., "Petroleum System of East Part of Ionian Zone in Albania.," *Online International Interdisciplinary Research Journal*, vol. 4, no. 3, pp. 49-65, 2014.
- [4] E. Petromanas, "Petromanas Announces Positive Well Test Results From Shpirag-2 in Albania," 5 November 2013. [Online]. Available: <https://www.worldoil.com/news/2013/11/5/petromanas-announces-positive-well-test-results-from-shpirag-2-in-albania/>.
- [5] Business Wire, "Royal Dutch Shell plc and Petromanas Energy Inc Announce Positive Well Test Results from Shpirag 2 in Albania," 11 April 2013. [Online]. Available: <https://www.marketscreener.com/quote/stock/SHELL-PLC-130945922/news/Royal-Dutch-Shell-plc-and-Petromanas-Energy-Inc-Announce-Positive-Well-Test-Results-from-Shpirag-2-38903708/>.
- [6] Politiko / E-TJERA, "Shell finally withdraws from Albania with 1.1 billion euros in losses," 06 February 2025. [Online]. Available: <https://politiko.al/english/e-tjera/shell-terhiqet-perfundimisht-nga-blloku-4-do-te-likuidoje-degen-ne-shqip-i524841/>.
- [7] B. e. a. Vissapragada, "A Snapshot of Carbonate Reservoir Evaluation," *Oilfield Review*, vol. 12, no. 4, pp. 20-41, 2000.
- [8] A. P. K. Rejas Rasheed, "Reserve Estimation Using Volumetric Method," *International Research Journal of Engineering and Technology*, vol. 03, no. 05, pp. 1-5, 2016.



Sürdürülebilir Beslenme:Çevre dostu beslenme alışkanlıklarının geleceği

Nazmiye Kabayel¹, Seydi Yıkmaş²

¹Beslenme ve diyetetik/Sağlık Bilimleri Enstitüsü/Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi,Türkiye

² Gıda Teknolojisi / Çorlu Meslek Yüksekokulu, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, Türkiye

*dzt.nazmiyekabayel@gmail.com

Özet – Sürdürülebilir beslenme düşük çevresel etkiye sahip, bugün ve gelecek nesiller için sağlıklı bir yaşama destek sunan beslenme ve gıda güvenliğine katkı veren beslenme biçimi olarak tanımlanmaktadır. Sürdürülebilir beslenme kavramı ile çevre dostu beslenme alışkanlıkları önem kazanmıştır. Son raporlar çevre dostu beslenmeyi gelecek nesiller için bir zorunluluk olarak görmektedir. Çevre dostu beslenme alışkanlıkları protein kaynaklarının değişmesi temeline dayanmakta ve yeni protein türlerinin oluşmasına katkı sağlamaktadır. Tüketici alışkanlıkları çevre dostu beslenmenin benimsendiğini fakat yeterli etkiyi yaratmadığını bildirir. Yeni kılavuzlar ve diyet değişiklikleri ile gıda israfında azalma sağlanması, beslenmenin bitki bazlı diyetlere dönüşmesi sürdürülebilir çevre dostu beslenme için büyük önem taşımaktadır. Çevre dostu beslenme alışkanlıklarını sağlamak için eğitimler ve kılavuzlara ihtiyaç vardır.

Anahtar Kelimeler – Sürdürülebilirlik,Çevre Dostu,İklim,Tarım,Gelecek.

I. GİRİŞ

Sürdürülebilir çevre dostu beslenme alışkanlıkları, bireylerin sağlık ve refahının tüm boyutlarını destekleyen; düşük çevresel baskı ve etkiye sahip, güvenli ve eşitlikçi, kolay erişilebilir ve çevre dostu, optimum ve sağlıklı geliştirici ve kültürel olarak kabul edilebilir diyet kalıplarıdır. Doğal gıda kaynaklarını korumak ve ekosistemlerin sağlığını önemsemek için çevresel, makroekonomik ve tarımsal faktörler dikkate alınmalıdır[1]. Paris iklim anlaşması gereğince küresel hayvancılıkta azalma hedeflenmektedir. Tüm bu anlaşmalar çevre dostu beslenmeyi bir seçenek değil bir zorunluluk olarak görülmesini sağlamıştır.

Çevre dostu beslenme alışkanlıkları küresel hayvancılıkta azalma, sera gazı emisyonlarının azaltılması, organik gıda talebinde artış, gıda ile ilgili karbon ayak izinin azaltılması ifadelerini içerir[2]. Çevre dostu davranışlar üzerine yapılan araştırmaların çoğu, ekolojik ürün satın alma etrafında dönmektedir. Ekolojik ürün satın alma kararı, diğer faktörlerin yanı sıra çevre bilinci, kişisel ve sosyal değerler, organik gıdalara yönelik motivasyon veya tutumlar gibi faktörlere bağlıdır[3].Farklı beslenme düzenlerini sürdüren kişiler üzerine yapılan bir çalışma diğer çevre dostu gıda dışı davranışlarda da farklı şekilde yer aldığını ve gıdalara yüklenen anlamların bu tüketim ve satın alma davranışlarında önemli bir rol oynadığını göstermektedir[4].

Sürdürülebilir beslenme artan nüfus ile daha çok önem kazanmıştır. Küresel sorunların artması sürdürülebilirliği desteklemek için yeni protein kaynaklarını araştırılmasını ,diyet türlerinde değişiklikleri yapılmasını öngörmektedir[5].

II. ÇEVRE DOSTU BESLENME

A. Çevre dostu beslenme alışkanlıklarını tanımlamak

Çevre dostu beslenme kavramı sürdürülebilir beslenme anlayışını benimsetmektedir. Sürdürülebilir beslenme anlayışı kişinin önceliklerine ve değerlendirme yöntemlerine bağlı değişiklik gösterebilir. Fikir birliğine varılmış bir tanımlı bulunmamaktadır. Fakat Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO), çevre dostu yani sürdürülebilir beslenmenin kapsamını 'düşük çevresel etkiye sahip, gıda ve beslenme güvenliğine destek sunan, mevcut olan ve gelecek nesillere sağlıklı bir yaşamı destekleyen beslenme biçimleri' olarak tanımlamaktadır[6]. Bir sistemin sürdürülebilir olabilmesi için sürdürülebilirliğin tüm boyutlarında etki oluşturmaları gerekmektedir. Sürdürülebilirlik, hem gıda sisteminin uzun vadeli sürdürülebilirliğini hem de açlık ve yetersiz beslenmenin küresel yükü, besleyici gıdalara eşitsiz ekonomik erişim, yüksek gıda kaybı ve israfı oranları, tarımsal sulama için tatlı su kaynaklarının güvencesizliği, ve gıda sistemleri çalışanları için eşitlik sorunlarında içermektedir[7].

Çevre dostu beslenme alışkanlıkları şunları içermelidir;

İnsanlık için sağlıklı besinler: beslenme proaktif olmalı ve sindirim sağlığı, bağışıklık sağlığı ve sağlıklı ve aktif yaşlanma gibi belirli sağlık ihtiyaçlarını hedefleyen faydalar sağlamalıdır.

Gıda israfı, gıda kaybı azaltılmalı

Ekonomik olarak uygulanabilmeli

Sürdürülebilir diyetler çeşitli sosyokültürel inançlara ve geçmişlere hitap etmelidir[8].

B. Neden Çevre Dostu Beslenme

Gıda sektörünün dünya sera gazı üretiminin %22'sinden fazlasına neden olduğu ve küresel ısınmada kilit bir faktör olduğu yıllardır bilinmektedir. Ayrıca, söz konusu etkinin %80'i yem ve nakliye dahil olmak üzere sığır yetiştiriciliği sektöründedir [9]. Dünya nüfusu 8 Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) son yayınında "Sağlıklı ve sürdürülebilir diyetlerin tüketimi, gıda sistemlerinden kaynaklanan emisyonlarını azaltmak ayrıca sağlık sonuçlarını iyileştirmeye yönelik önemli fırsatlar sunar" ifadesi kabul edilmiştir. FAO/WHO İkinci Uluslararası Beslenme Konferansı (ICN2) "Mevcut gıda sistemleri, ile birlikte çevresel bozulma kısıtlamaları ve kayanık kıtlığı yaşanmasına ek olarak sürdürülebilir olmayan üretim , tüketim kalıpları, gıda israfı , dengesiz gıda dağılımı nedeniyle, sağlıklı diyetlere katkı sağlayan herkese güvenli, çeşitlendirilmiş ,besin açısından zengin en önemlisi yeterli gıda sağlama konusunda giderek daha da fazla zorlanmaktadır" ifadesini kabul etmiştir[10]. Bunların yansıması Paris İklim anlaşması gereğince hükümetler için çevre dostu beslenme alışkanlıkları bir tercih değil zorunluluk olmuştur. Tarım tek başına küresel tatlı su çekilmelerinin yaklaşık %70'ini oluşturur ve su kirliliğine neden olur .Ayrıca arazi dönüşümü, ormansızlaşma ve biyolojik çeşitlilik kaybı gibi durumlarda da büyük oranda (%20-30) gıda sistemleri sorumludur[10].

Yapılan bir çalışmada bitki ve hayvan verimliliğini artırmak ve gıda kaybını ve israfını yarıya indirmek, kalıcı besin açığını her zamanki tedarik modellerine kıyasla %42'ye kadar daha düşük emisyonla kapatabileceğini bildirmiştir. Sebze, yumurta, kök ve yumruların üretimi ve ticaretinin artırılması, ile ise çoğu ülkede en düşük emisyonlarla besin açığını kapatılabileceği savunulmuştur[11].

C. Gelecekte Bizi Ne Bekliyor?

Sürdürülebilir beslenme anlayışı beraberinde beslenme alışkanlıklarının değişmesini getirir. Tüketici algıları üzerine yapılan bir çalışmada iklim değişikliğine yönelik yerleşik tutumların, daha sağlıklı gıda ürünlerine yönelik tercihlerin ve çevre dostu ürünlere yönelik toplumsal farkındalığın, satın alma ve tüketim davranışlarını değiştirmede anahtar faktörler gibi görüldüğünü bildirilmiştir[2]. Öğrenciler üzerine yapılan bir çalışma ise geri dönüşüm ve çevre konuları öğrenciler arasında popüler olduğu ancak bu konuların ötesinde sürdürülebilirlik anlayışları sınırlı olduğunu bildirmiştir[12]. Bununla birlikte iklim değişikliği konusunda bilinçli bireylerin daha az sıklıkta kırmızı et (sığır eti ve domuz eti) tükettiği ve bu tüketimin zamanla azaldığı bildirilmiştir[13].

Gıda tedarikinin sürdürülebilirliğini ve sağlıklılığını artırmak için tüketilen gıda türlerini değiştirilmesinin önemi vurgulanmaktadır. Protein açısından zengin et, balık, yumurta, süt gibi hayvansal kaynaklar, yerine bitkiler, mikrobiyal fermentasyon, böcekler hücre kültürleri gibi alternatif protein kaynaklarının kullanılması önerilmektedir[14]. Protein kaynakları içerisinde ne çok önerilen protein kaynakları ise böcekler, mikroalgler, hücresel tarım proteinleridir. Fakat bunların kabul edilebilirliği, yoğun işleme maruz kalma sonucunda sağlık için faydaları tartışma konusudur[15]. Beslenmenin dış maliyetlerinin gerçek gıda fiyatlarına dahil edilmesinin et ve diğer yüksek riskli ürünlere olan talebi azaltabileceğini ve sürdürülebilir gıda tüketimini teşvik edebileceği öne sürülmüştür[1].

Tüm bu sorunları azaltmak için bir dizi önlem planı geliştirilmiş ve geliştirilmeye devam etmektedir. Klinisyenler için eğitimlerin geliştirilmesi hedefi en temelde yer alır. Temelde beslenme rehberlerini şekillendirilmesi, gıda ve beslenme güvenliğinin ve su güvenliğinin iyileştirilmesi, gıda üretimi ve beslenmenin uyumlu hale getirilmesini, tedarik zincirlerinin ve gıda ortamlarını optimize edilmesi ve atıkların azaltılması da bu hedeflerdendir[7].

III. SONUÇ

Sürdürülebilir beslenme, çevre dostu beslenme alışkanlıklarını kazanmak günümüzün temel hedeflerindendir. Yayımlanan yönergeler bunu teşvik etmeyi ve bu konudaki araştırmaları desteklemektedir. Çevre dostu beslenme alışkanlıklara yönelik tüketici algıları farklılık göstermekle birlikte tüketiciler yeterli bilgi sahibi değildirler. Gıda beslenme sistemlerinin sürdürülebilirliğe olumsuz etkisi oldukça fazladır. Gıda sistemlerinin olumsuz etkisini azaltmak için önlem planları geliştirilmektedir. Temelde tüketici alışkanlıklarını değiştirmek üzerine yoğunlaşmaktadır. Yeni diyet modelleri ve besin türleri öne sürülmektedir. Bunların yanı sıra gıda israfında azalmalar ve beslenme değişiklikleri sürdürülebilir beslenme için büyük fayda sağlamaktadır. Sürdürülebilir beslenme bugümüz ve geleceğimiz için bir tercih değil zorunluluktur. Bu zorunluluğu sağlamak için kılavuzların güncellenmesi hedeflenmeli, klinisyenler bilgilendirilmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] M. Gibas-Dorna and W. Żukiewicz-Sobczak, "Sustainable Nutrition and Human Health as Part of Sustainable Development," (in eng), *Nutrients*, vol. 16, no. 2, Jan 10 2024, doi: 10.3390/nu16020225.
- [2] D. Lazaridou, K. Mattas, E. Tsakiridou, and M. Yercan, "Consumption Patterns for Healthy and Environmentally Friendly Food Choices: An Overview of Contemporary Issues," in *Value Chain Dynamics in a Biodiverse Environment: Advances in Biodiversity, Sustainability, and Agri-food Supply Chain Development*, K. Mattas, G. Baourakis, C. Zopounidis, and C. Staboulis Eds. Cham: Springer Nature Switzerland, 2024, pp. 61-75.
- [3] A. Tandon, A. Dhir, P. Kaur, S. Kushwah, and J. Salo, "Why do people buy organic food? The moderating role of environmental concerns and trust," *Journal of Retailing and Consumer Services*, vol. 57, p. 102247, 2020/11/01/ 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2020.102247>.
- [4] C. Chinea Montesdeoca, E. Suárez, B. Hernández, and G. Rolo-González, "Meat-free diets and their relationship with the meaning of food and eco-friendly purchase and consumption behaviours," *British Food Journal*, vol. 124, no. 9, pp. 2761-2771, 2022.
- [5] A. Acevedo-Fani and H. Singh, "Food Structure and Nutrition Interface: New Perspectives in Designing Healthy and Sustainable Foods," (in eng), *J Agric Food Chem*, vol. 70, no. 17, pp. 5291-5298, May 4 2022, doi: 10.1021/acs.jafc.2c01026.
- [6] S. Ruzgys and G. J. Pickering, "Perceptions of a sustainable diet among young adults," *Environmental Education Research*, vol. 31, no. 3, pp. 512-528, 2025/03/04 2025, doi: 10.1080/13504622.2024.2365395.
- [7] M. L. Spiker et al., "Cultivating Sustainable, Resilient, and Healthy Food and Water Systems: A Nutrition-Focused Framework for Action," *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, vol. 120, no. 6, pp. 1057-1067, 2020, doi: 10.1016/j.jand.2020.02.018.
- [8] W. Asghar and N. Khalid, "Sustainable nutrition – healthy populations," *Nutrition and Health*, vol. 29, no. 1, pp. 3-4, 2023/03/01 2023, doi: 10.1177/02601060231159915.
- [9] F. Pérez-Jiménez, "The future of diet: what will we be eating in The future?," *Clínica e Investigación en Arteriosclerosis (English Edition)*, vol. 34, pp. 17-22, 2022/07/01/ 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.artere.2022.06.004>.

- [10] W. H. Organization, *Sustainable healthy diets: Guiding principles*. Food & Agriculture Org., 2019.
- [11] Ö. Geyik, M. Hadjikakou, and B. A. Bryan, "Climate-friendly and nutrition-sensitive interventions can close the global dietary nutrient gap while reducing GHG emissions," *Nature Food*, vol. 4, no. 1, pp. 61-73, 2023/01/01 2023, doi: 10.1038/s43016-022-00648-y.
- [12] S. T. Fiedler, T. Heyne, and F. X. Bogner, "'Sustainable' Is Synonymous to 'Eco-Friendly': Student Perceptions about Sustainability and Sustainable Behavior," *Creative Education*, vol. 14, no. 6, pp. 1284-1308, 2023.
- [13] F. Bimbo, "Climate change-aware individuals and their meat consumption: Evidence from Italy," *Sustainable Production and Consumption*, vol. 36, pp. 246-256, 2023/03/01/ 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2023.01.009>.
- [14] D. J. McClements, "Future foods: A manifesto for research priorities in structural design of foods," *Food & function*, vol. 11, no. 3, pp. 1933-1945, 2020.
- [15] F. Liu *et al.*, "Future foods: Alternative proteins, food architecture, sustainable packaging, and precision nutrition," *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, vol. 63, no. 23, pp. 6423-6444, 2023/09/10 2023, doi: 10.1080/10408398.2022.2033683.

Horizontal Wells Drilling in the Patos-Marinza Oilfield: Performance, Challenges and Solutions in Unconsolidated Sandstone Reservoirs

Ortenca Gropa ^{1*}, Erison Karamani ² and Raziela Zema ³

¹ Assistant Lecturer, Department of Energy Resources, Polytechnic University of Tirana, Albania

² Assistant Lecturer, Department of Energy Resources, Polytechnic University of Tirana, Albania

³ Assistant Lecturer (Part-Time), Department of Energy Resources, Polytechnic University of Tirana, Albania

**(ortenca.gropa@fgjm.edu.al) Email of the corresponding author*

Abstract – This paper presents an overview of horizontal well drilling, with a particular focus on its implementation in the Patos-Marinza oilfield, Albania, one of the largest onshore heavy oil fields in Europe. The geological and reservoir characteristics, including high oil viscosity, unconsolidated sandstone formations, and variable permeability, make Patos-Marinza a suitable candidate for horizontal drilling technologies. The study outlines the methodology of horizontal well construction, from trajectory planning to completion, and compares the performance of horizontal and vertical wells. Horizontal wells have demonstrated significantly improved productivity due to enhanced reservoir contact, delayed water breakthrough, and reduced well count in field development. However, technical challenges remain prominent, particularly the instability of the wellbore and the collapse of lower completion liners due to formation-induced stress and excessive sand production. These issues are exacerbated in larger fracture apertures, where mechanical failure has been more frequent. The paper discusses these limitations and proposes potential solutions such as enhanced liner material selection (e.g., L80 over J55), optimised slot design, and sidetrack drilling in failure cases. The findings underscore the importance of integrated geomechanical modelling, tailored completion strategies, and robust well design to ensure the long-term success and reliability of horizontal wells in complex heavy oil reservoirs.

Keywords – Horizontal Drilling, Patos-Marinza Oilfield, Sandstone Reservoirs, Liner Collapse, Well Construction Challenges.

I. INTRODUCTION

A. Horizontal Well Drilling

Horizontal wells are considered one of the most advanced and effective methods for increasing well-reservoir contact and improving oil recovery factors compared to vertical wells [1]. The drilling of a horizontal well begins with the vertical section down to a specific depth called the Kick-Off Point (KOP), continuing with a gradually curved (deviated) section approximately 90° from vertical, after which the horizontal (lateral) section begins. It then advances within the reservoir, parallel to the productive formation, with an approximately horizontal section until the target depth is reached [2], [3].

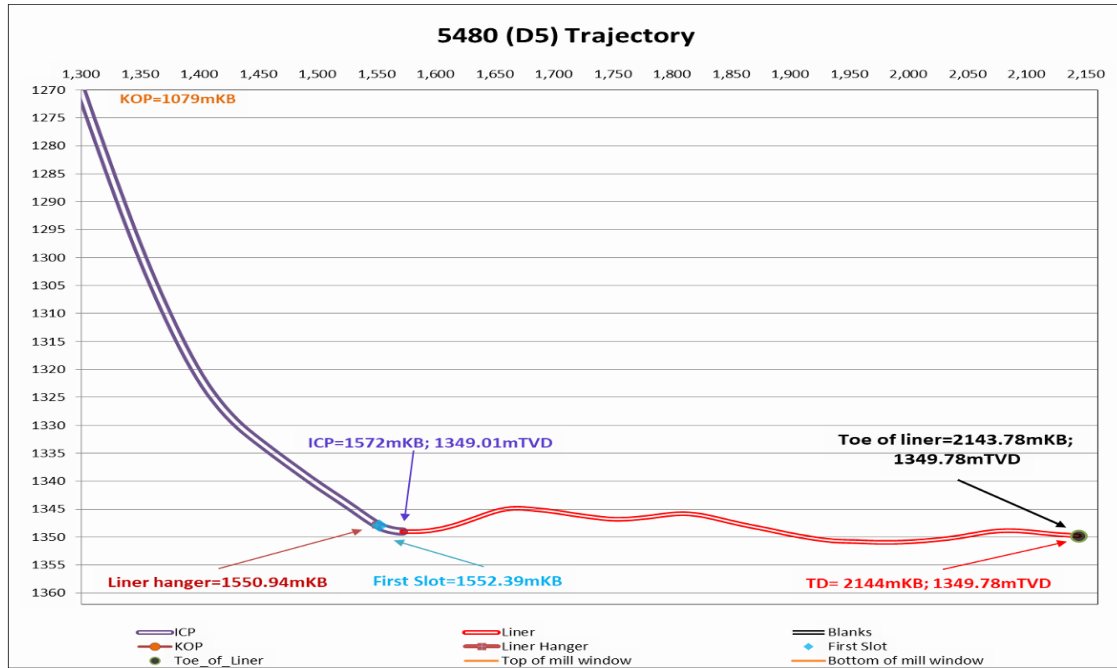


Fig. 1 Trajectory of a horizontal well in the Patos-Marinza oilfield [4]

Horizontal well drilling in Albania dates back to December 2008, initiated by the operating company in the Patos-Marinza oilfield, Bankers Petroleum, although during 1999-2004, wells with high deviation angles were drilled in the Marinza area. The first horizontal well, 5013, was followed by further horizontal drilling, and today there are over 880 horizontal laterals drilled in four formations (Gorani, Driza, Marinza, and Bubullima) [4], [5].

B. Characteristics of the Patos-Marinza Oilfield

The Patos-Marinza oilfield, a multi-layered and complex reservoir, is located in the southwest of Albania, specifically in the city of Fier [6].



Fig. 2 Location map of the Patos-Marinza heavy oil field [7]

It consists of terrigenous sediments where oil is accumulated in sandstone layers with thicknesses ranging from 5-30 metres, at depths between 800-2,500 metres. The porosity ranges from 18-30%, making the reservoir highly favourable for hydrocarbon accumulation. Permeability varies between 100-800 mD, and since the oil is heavy with high viscosity, at ambient temperature (25°C) it ranges from 10,000-20,000 cP, and at reservoir temperature (70°C) from 100-500 cP, it also has high sulphur content. Oil saturation is around 60-80%, which indicates high oil reserves, but the high viscosity represents a significant challenge (8°-12°API). The oil-bearing formations (suites): Gorani, Driza, Marinza, and Bubullima, are layered one above the other, dipping from east to west and from north to south [4], [8].

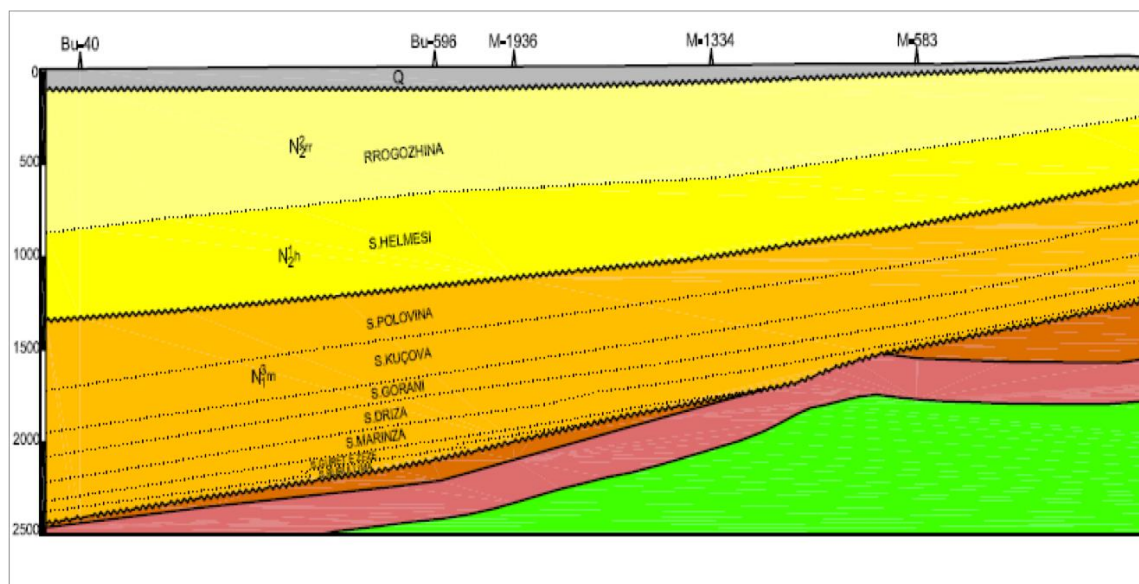


Fig. 3 Oil-bearing formations in the Patos-Marinzha field [9]

The two main formations from which over 80% of the oil is produced are Driza and Gorani, each composed of six sub-zones, characterised by heavy and extra-heavy oil, with densities ranging from 8-11°API (Driza) and 7-8°API (Gorani). Meanwhile, the oil in the Marinza (11-30°API) and Bubullima (>30°API) formations is lighter and is used as a diluent in the exploitation of the Driza and Gorani formations.

C. Effectiveness of Horizontal Wells in Increasing Oil Recovery

Although horizontal wells offer many advantages at first glance, from an economic perspective they have a major drawback: high costs (typically twice that of a vertical well) [10]. In Albania, horizontal drilling has proven to be sufficiently effective, as production has increased nearly tenfold compared to vertical wells. Therefore, it can be concluded that the profit gained from the additional oil recovered by horizontal wells surpasses their drilling costs, making horizontal wells today an innovative method for exploiting heavy oil reservoirs.

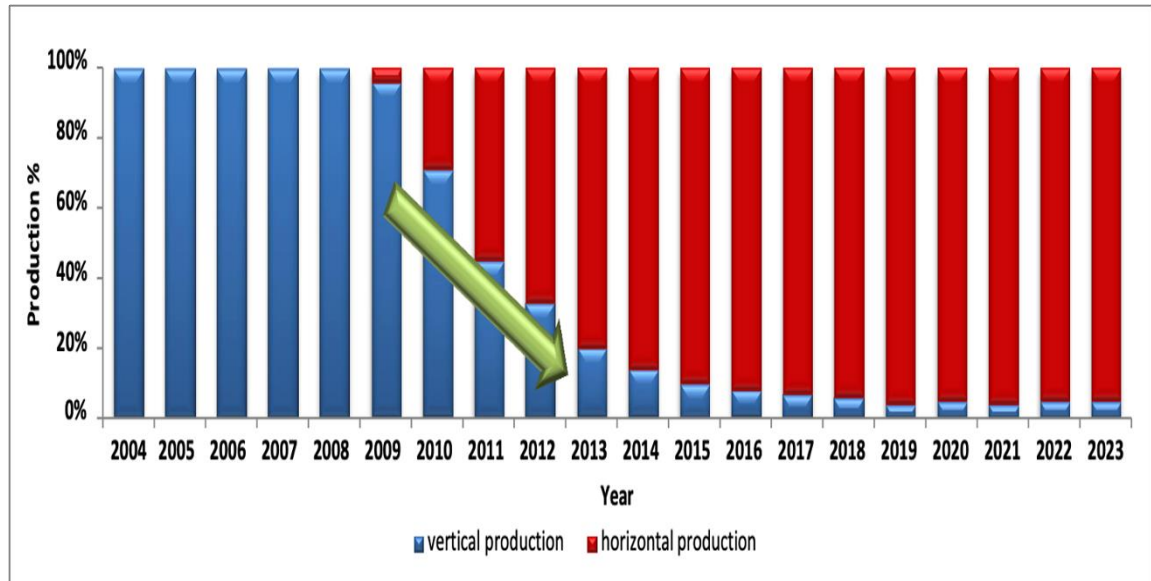


Fig. 4 Production performance in the Patos-Marinza field from vertical and horizontal wells [5]

The presented graph clearly shows how production trends have changed since the drilling of the first horizontal well in December 2008 in Patos-Marinza.

- From 2004 to 2008, 100% of production came solely from vertical wells;
- In 2009, horizontal wells began contributing;
- By 2013, a significant transition had occurred: in that year, horizontal wells accounted for over 80% of total production, as indicated by the green arrow;
- After 2013, horizontal wells have completely dominated (>90% of production).

II. MATERIALS AND METHOD

A. Advantages of Horizontal Well Drilling

- Increased production due to larger contact area with the reservoir, enabling higher oil extraction rates in shorter periods; in Patos-Marinza, lateral lengths vary between 250-800 m [8];
- Access to heavy and extra-heavy oil reserves that are not accessible through vertical wells;
- Reduced sand production issues, given that the Patos-Marinza geological formations are sandstone layers;
- Reduced water coning issues.

B. Negative Effects

- Significantly higher drilling costs compared to vertical drilling, depending also on depth;
- Requires advanced drilling technology and equipment for wellbore stability;
- Potential for sand and debris production due to greater exposure to the formation, which can reduce the horizontal well's lifespan, often resulting in higher long-term vertical well productivity;
- Requires more diluent than vertical wells because:
 - The geometry of the well makes it difficult to operate without reducing viscosity;
 - The producing interval ends in a lateral 250-800 m long, creating challenges mainly during well cleaning, which may lead to fluid loss into the formation;
- Damage to the horizontal section (even complete blockage) due to [4]:
 - Liner pipe corrosion caused by sand production;
 - Liner collapse due to formation stress (bottom liner collapse), resulting in massive sand ingress and eventual near-complete well shutdown;
 - Liner damage caused by fracture geometry.

C. Challenges of Horizontal Well Construction in Sandstone Reservoirs

As stated above, one of the major challenges in drilling wells in unconsolidated sandstone reservoirs (such as in Patos-Marinza) is the collapse of the casing and the well construction due to formation stress [11]. This means that regardless of how stable the drilling structure may be, the rock remains unconsolidated and may collapse or create cavities at any moment. To avoid casing collapse, the entire drilled structure is cemented. After intermediate casing cementing, the wellbore is left as open hole, and the production liner (slotted filter-type, and the only non-cemented part of the horizontal section) is installed.

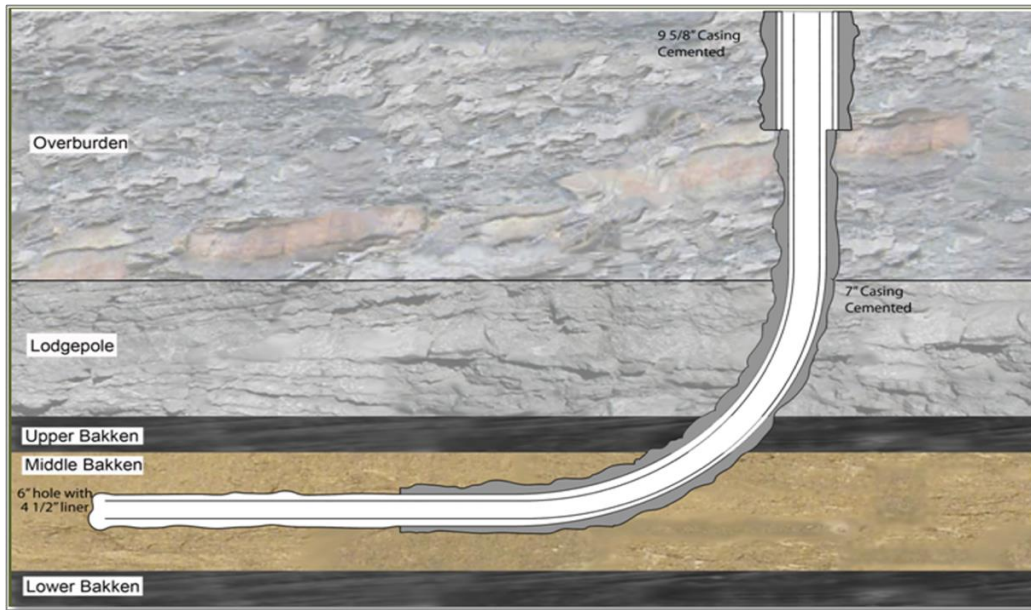


Fig. 5 Horizontal well drilling [12]

Bottom casing damage is closely related to the material of these pipes, as their configuration must account for additional stresses in the near-wellbore zone caused by the formation, which affect fracture flexibility in the liner. In the Patos-Marinza field, bottom casing failures occurred in J55-grade materials, which did not account for such additional stresses and therefore resulted in serious damage [4], [11].

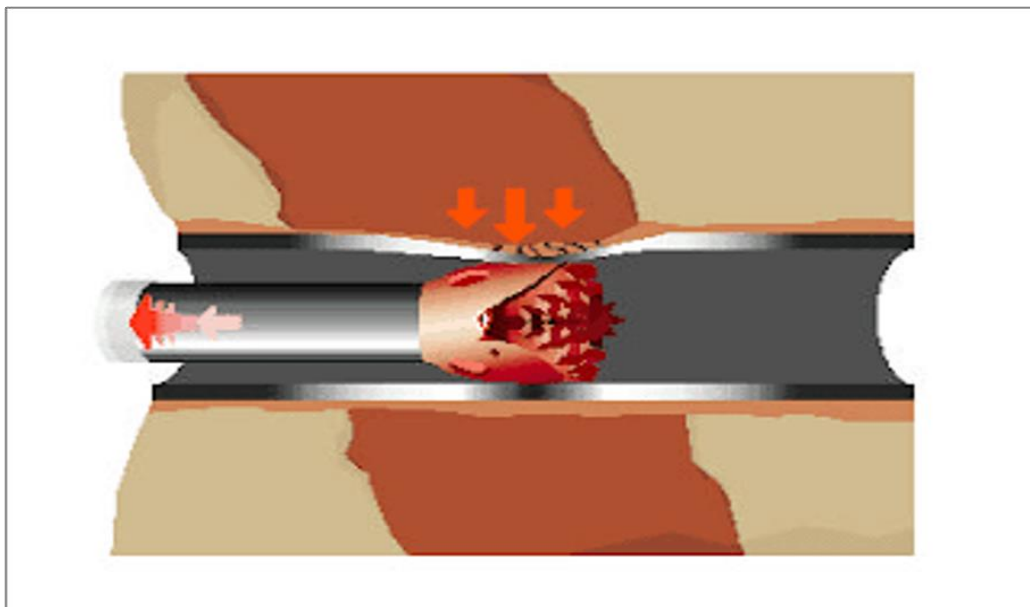


Fig. 6 Casing collapse [13]

III. RESULTS

Fractures themselves represent one of the most problematic aspects of well construction. At first glance, larger fractures seem to yield higher production, but in these sandstone formations, large quantities of sand are also produced alongside fluids, leading to the formation of liner cavities, collapse, and casing failure. The figure below clearly shows that production from smaller fractures (0.635 mm) is lower than that from larger fractures (3.175 mm); however, operational field experience has shown that wells with larger fracture apertures have failed more frequently than those with smaller ones. This is directly related to the large volumes of sand produced alongside fluids, exacerbating operational issues.

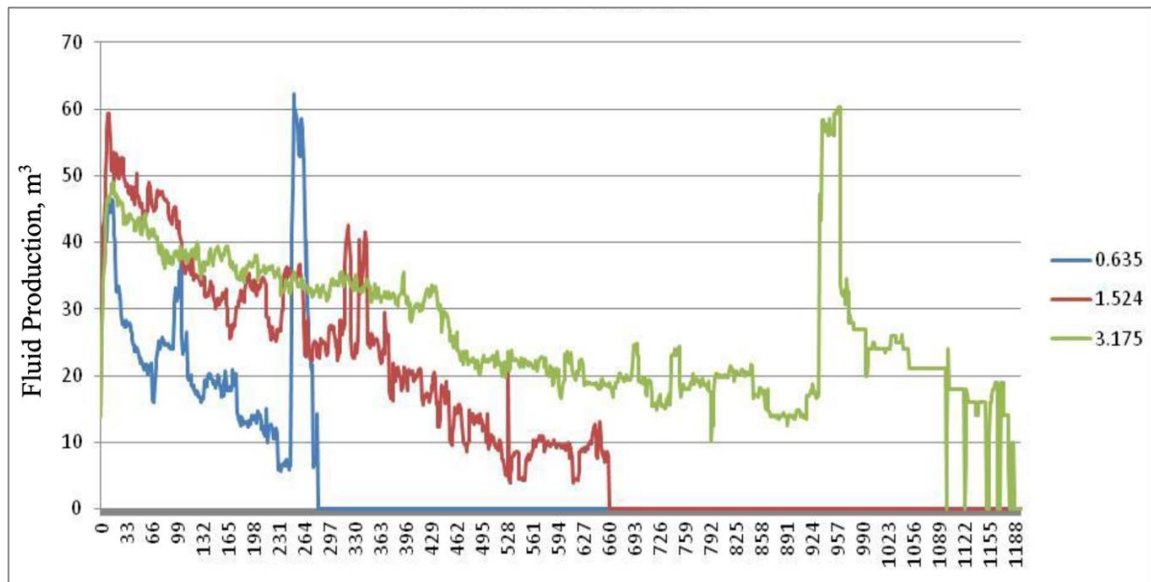


Fig. 7 Fluid production performance by fracture aperture size in bottom casing [4] [14]

To withstand formation-induced stress, it is recommended that the horizontal liner construction be properly designed. In Patos-Marinza, L80 casing with specified slot sizes replaced J55 designs [4], [11]. Hence, the selection of bottom casing materials must align with the geometry and configuration of the fracture system.

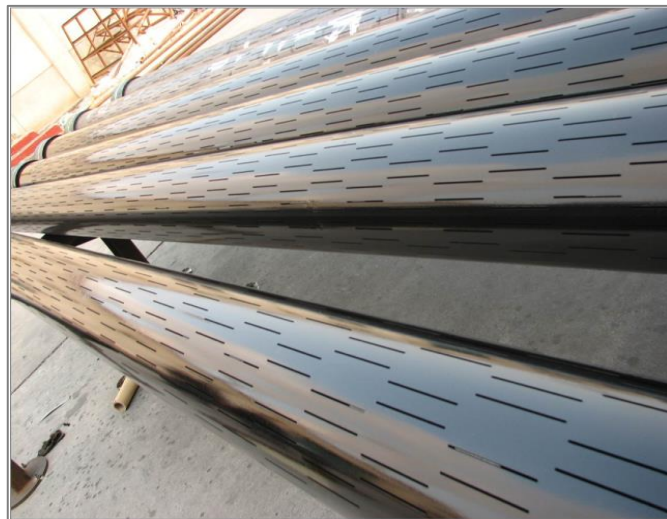


Fig. 8 Slotted casing [15]

In cases of liner damage, the best solution is to completely isolate the damaged leg and drill a second leg, using the same vertical section of the well [11]. However, when drilling the second leg, it is crucial to select the appropriate liner configuration, slot number, size, and geometrical shape.

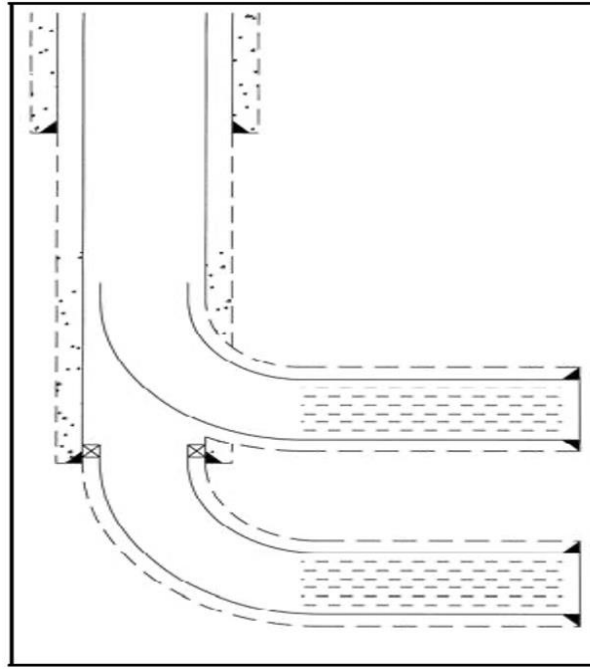


Fig. 9 Drilling of the second leg of the well [16]

IV. DISCUSSION

The implementation of horizontal drilling in the Patos-Marinza oilfield has shown significant advantages in enhancing oil production, especially in heavy oil-bearing sandstone formations. The lateral sections of 250-800 metres have enabled broader reservoir exposure, increasing oil recovery rates significantly. However, despite these production benefits, the method introduces several operational and technical challenges.

One of the most critical issues is the mechanical failure of the liner system, particularly in unconsolidated sandstone formations. Larger fracture apertures, although initially associated with higher production, have led to excessive sand ingress, resulting in liner damage, collapse, and eventual well shutdown. This highlights the need for a balanced fracture design strategy, where mechanical integrity and sand control are prioritised over immediate production gains.

Additionally, the use of low-strength materials such as J55 in bottom liners has proven insufficient under the formation-induced stress, necessitating a shift to more robust materials like L80 and careful design of slot dimensions and configurations. The requirement for increased diluent use due to geometric constraints and cleaning difficulties also affects operational efficiency.

Moreover, the drilling of sidetracks in cases of liner failure, while effective, further increases operational costs and complexity. These observations underline the importance of precise geomechanical modelling, tailored completion designs, and continuous monitoring to ensure the long-term success of horizontal wells in such challenging environments.

V. CONCLUSION

Horizontal drilling has become a cornerstone in the development of the Patos-Marinza oilfield, offering substantial gains in production from heavy oil reservoirs. Despite its higher cost and engineering complexity, the method has outperformed vertical wells in terms of recovery efficiency. The success of these operations depends heavily on appropriate liner material selection, fracture design, and sand control measures. With improved technology and focused reservoir management, horizontal wells are expected to remain essential in optimising recovery from Albania's largest onshore oilfield.

REFERENCES

- [1] Islam, M. R., & Hossain, M. E. (2021). Drilling engineering-Towards achieving total sustainability (Vol. 4, Chapter: Advances in horizontal well drilling, pp. 317-382). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820193-0.00004-6>
- [2] Thakur, P., Schatzel, S. J., Aminian, K., Rodvelt, G., Mosser, M. H., & D'Amico, J. S. (2020). History and methodology of horizontal drilling. In Coal bed methane (2nd ed., pp. 269-282). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815997-2.00015-9>
- [3] Unknown author. (n.d.). Horizontal drilling. Scribd. <https://www.scribd.com/document/43147652/Horizontal-Drilling>
- [4] Dudumi, M. (2025). Leksione të shkruara-Patos-Marinza Oilfield. Bankers Petroleum.
- [5] Shuaipi, L. (2024, May). Bankers Petroleum-Company overview. 3rd IENETirana Energy Forum. <https://www.iene.eu/articlefiles/inline/ledina%20tirana%2030%2005%202024.pdf>
- [6] Albpetrol. (n.d.). Prodhimi i naftës ndër vite. <https://albpetrol.al/prodhimi-i-naftes-nder-vite/>
- [7] APA Petroleum Engineering Inc. (2005, April). Patos-Marinza heavy oil field-2004 reserves evaluation. Prepared for Saxon International Energy Limited.
- [8] Bankers Petroleum. (2025, May). Përmbledhje mbi zhvillimin e vb. Patos-Marinëz dhe planit të projektit të avullit. Prezantuar gjatë zhvillimit të praktikave mësimore dhe profesionale në vendburimin e Patos-Marinës.
- [9] Bankers Petroleum Albania [@bankerspetroleumalbania]. (2020, July 6). Fusha e Patos-Marinës konsiderohet vendburimi më i madh nëntokësor i naftës në Europë... [Facebook status update]. Facebook. <https://www.facebook.com/bankerspetroleumalbania/posts/177672080423572/>
- [10] Thodhorjani, S., Vreto, V., Doracaj, M., & Prifti, P. (1998). Metodatat e rritjes së naftënxjerrjes. Shtëpia Botuese "Libri Universitar".
- [11] Bankers Petroleum. (n.d.). Failed liner review, slotted liner study. Internal report.
- [12] Sorensen, J. (2014, December 4). Improved characterization and modeling of tight oil formations for CO₂ enhanced oil recovery potential and storage capacity estimation. University of North Dakota Energy & Environmental Research Center. <https://www.netl.doe.gov/sites/default/files/2017-12/FE0024454-Kickoff.pdf>
- [13] Drilling Manual. (2020, January 13). Collapsed casing risks, indications & mitigation. <https://www.drillingmanual.com/collapsed-casing-stuck-pipe/>
- [14] Bankers Petroleum. (n.d.). Relative performance of various slot sizes in horizontal wells at Patos-Marinza. Internal study.
- [15] Victall Perforated Tubing Co. (n.d.). Slotted liners/tubes. <https://www.perforated-tube.com/perforatedtube/slotted-liners.html>
- [16] Drilling Manual. (2021, August 9). Multilateral wells drilling technology full guide. <https://www.drillingmanual.com/multilateral-wells-drilling-technology-full-guide/>

Ankara İlinde Fizyoterapi Merkezi Yer Seçimi: Bulanık AHP ve TOPSIS Yöntemleri ile Çok Kriterli Karar Verme Yaklaşımı

Gülsüm Özge COŞKUN, Fatma Efsa PAKSOY, Hacı Mehmet ALAKAŞ *

Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale, Türkiye

*hmalagas@kku.edu.tr

Özet – Günümüzde fizyoterapi ve rehabilitasyon hizmetlerine duyulan talebin her geçen gün artması, bu hizmetlerin sunulacağı yerlerin doğru, planlı ve bilimsel yöntemlerle belirlenmesini zorunlu hale getirmiştir. Özellikle ortalama yaşam süresinin uzaması, nüfusun giderek yaşlanması, hareketsiz yaşam biçimlerinin yaygınlaşması, teknolojinin getirdiği durağan çalışma düzenleri ve kronik kas-iskelet sistemi hastalıklarının yaygınlaşması, fizyoterapi merkezlerine duyulan ihtiyacın hızla artmasına yol açmaktadır. Artan hasta yoğunluğu, kentleşmenin getirdiği bölgesel dengesizlikler ve bazı ilçelerdeki hizmet eksiklikleri göz önüne alındığında, fizyoterapi ve rehabilitasyon merkezlerinin toplumun her kesimi tarafından kolayca erişilebilir olması büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, fizyoterapi merkezlerinin stratejik lokasyonlara planlı bir şekilde yerleştirilmesi, hizmet kalitesinin artırılması ve kaynakların etkin kullanılabilmesi açısından önem arz etmektedir. Bu çalışmada, Ankara ili örneği üzerinden fizyoterapi merkezi yer seçimi problemi ele alınmış, karar verme sürecindeki çok sayıda kriter ve belirsizlikler nedeniyle Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ile TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemleri bir arada kullanılmıştır. Bulanık AHP yöntemiyle belirlenen kriter ağırlıkları, TOPSIS yöntemiyle alternatif ilçelerin uygunluk derecelerine uygulanarak sıralama yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre Çankaya ilçesi; güçlü ulaşım imkânları, yüksek sosyoekonomik düzeyi, sağlık kurumlarına yakınlığı, gelişmiş altyapı ve fiziksel koşulları sayesinde en uygun lokasyon olarak belirlenmiştir. Bu çalışma, fizyoterapi ve rehabilitasyon merkezlerinin etkin planlanmasına katkı sağlayarak karar vericilere bilimsel bir yol haritası sunmakta ve literatüre değerli bir katkı sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler – Fizyoterapi Merkezi, Yer Seçimi, Bulanık AHP, TOPSIS, Çok Kriterli Karar Verme.

I. GİRİŞ

Günümüzde bireylerin evden çıkma ihtiyacının azalması ve hareketsiz bir yaşam tarzına geçiş yapmaları, bel ve boyun fıtıkları, kireçlenme ve eklem ağrıları gibi sağlık sorunlarının artmasına neden olmuştur. Türkiye genelinde olduğu gibi Ankara ilinde de mevcut fizyoterapi ve rehabilitasyon merkezlerinin sayısı artan bu talepleri karşılamakta yetersiz kalmaktadır.

Yeni fizyoterapi merkezlerinin doğru ve stratejik lokasyonlara kurulması hem erişilebilirliği artırmak hem de kaynakların etkin kullanımını sağlamak açısından kritik öneme sahiptir.

Bu çalışmada, Ankara ili kapsamında yeni kurulacak bir fizik tedavi ve rehabilitasyon merkezi için en uygun lokasyonun belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerinden Bulanık AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesi) ve TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) birlikte kullanılmıştır. Bulanık AHP yöntemi ile kriter ağırlıkları belirlenmiş, ardından bu ağırlıklar TOPSIS yöntemi ile alternatiflerin sıralanmasında kullanılmıştır.

Çalışmanın uygulama kısmında, Ankara'daki beş farklı lokasyon belirlenmiş ve bu alternatifler önceden tanımlanmış kriterler açısından değerlendirilmiştir.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

A. Fizik Tedavi Ve Rehabilitasyon Merkezi

Fizik tedavi ve rehabilitasyon, kas-iskelet sistemi, sinir sistemi veya hareket kısıtlılığına yol açan sağlık sorunlarının tedavisinde yararlanılan bir tıbbi disiplindir. Amacı, diğer vücut sistemlerinde oluşan sorunları tedavi ederek hastaların hareket kabiliyetini geliştirmeyi, ağrıyı azaltmayı ve yaşam kalitesini iyileştirmektir. Bu merkezlerde elektroterapi, manuel terapi, egzersiz programları, ameliyat sonrası rehabilitasyon ve nörolojik hastalıkların tedavisi gibi yöntemler uygulanır. Bu bölümde, bel-boyun fıtığı, felç, spor yaralanmaları, ortopedik yaralanmalar, sinir sıkışmaları, omurilik yaralanmaları, romatizma hastalıkları ve kronik ağrı gibi sorunlar yaşayan bireyler bu hizmetlerden yararlanabilir. Multidisipliner bir ekip yaklaşımıyla hastaların ihtiyaçlarına uygun kişiselleştirilmiş tedaviler sunulur.

Fizik tedavi bölümünde kas-iskelet sistemini, sinir sistemini ve hareket yetisini etkileyen birçok hastalıkta uygulanır. Yaygın olarak; omurga rahatsızlıkları, eklem rahatsızlıkları, yumuşak doku romatizmaları, kemik bozuklukları, nörolojik hastalıkları, kas hastalıkları, solunum bozuklukları, spor yaralanmaları gibi durumlarda tercih edilir. Ayrıca, ameliyat sonrası rehabilitasyon, kronik ağrı sendromları, skolyoz gibi omurga deformiteleri, romatizma hastalıkları ve bazı nörolojik rahatsızlıklar gibi durumlarda da hareket kabiliyetini artırmak ve ağrıyı azaltmak için fizik tedavi uygulanır. Rehabilitasyon, bireyin fiziksel, zihinsel veya duygusal işlevlerinde kayıplar yaşadığı durumlarda fonksiyonlarını geri kazanmasına yardımcı olmak için gereklidir. Bu süreç, hastanın günlük yaşam aktivitelerine geri dönmesine, hareket yeteneğini ve yaşam kalitesini artırmasına destek olur.

Fizik tedavi ve rehabilitasyon programında tedavi olarak ısı uygulamaları, elektrik akım uygulamaları, ışık uygulamaları, mekanik uygulamalar, manuel terapi, eklem içi ve ağırlı nokta enjeksiyonları, kinezyobantlama gibi yöntemler tercih edilir.

Hastalar, ilgili hekim tarafından değerlendirilir, şikâyet ve bulgulara göre tedavi programı planlanır ve günlük 1-1,5 saatlik seanslar halinde fizyoterapistlerce yapılmaktadır.

Fizyoterapistler, hareket sistemi bozuklukları, ağrılar ve fiziksel işlev kayıplarını tedavi etmek amacıyla bilimsel yöntemler uygulayan sağlık personelleridir. Kas-iskelet sistemi hastalıkları, nörolojik sorunlar, spor yaralanmaları ve cerrahi sonrası rehabilitasyon gibi durumlarda, hastaların hareket kabiliyetini artırmayı ve yaşam kalitesini iyileştirmeyi hedefler. Fizyoterapistler, kişiye özel egzersiz programları, manuel terapi teknikleri ve fiziksel tedavi yöntemleri kullanarak tedavi sürecini yönetir.

2024 yılı haziran ayı itibarıyla Türkiye'de yaklaşık 60 bin fizyoterapistin görev yaptığı tahmin edilmektedir. TÜİK verilerine bakıldığında, 2000 yılından itibaren yaşlı nüfus oranında artış olduğu gözlemlenmektedir. Yaşlı nüfustaki bu artış, fizyoterapistte olan talebi de artırmaktadır. Mevcut eğilimler doğrultusunda, 2030 yılı itibarıyla fizyoterapist sayısının 100 bine ulaşması öngörülmektedir.

B. Literatürde Yapılan Çalışmalar

Yer seçimi, bir tesisin temel yapı taşlarından biri olarak değerlendirilmektedir. Özellikle fizik tedavi ve rehabilitasyon merkezleri gibi sağlık hizmeti sunan tesisler açısından yer seçimi oldukça kritik bir rol oynamaktadır. Yer seçimi sürecinde birden fazla alternatifin değerlendirilmesi gerekmekte olup, karar

vericiler hem olumlu hem de olumsuz etkileri bulunan çok sayıda kriteri aynı anda göz önünde bulundurmak zorundadır (Yazıcı vd., 2021) [8]. Bu bağlamda, yer seçimi kararları; toplam uzaklık, ulaşım süresi, maliyet gibi unsurlara bağlı olarak amacın optimizasyonunu hedeflemektedir (Austin vd., 1995) [1]. Ancak tüm alternatiflerin fiziksel olarak değerlendirilmesi hem zaman alıcı hem de maliyetlidir. Bu nedenle karar verme sürecinde çok kriterli karar verme (ÇKKV) yaklaşımlarından faydalanılmaktadır.

Yer seçimi problemlerine çözüm sunan yöntemlerden biri Analitik Hiyerarşi Yöntemi'dir (Analytical Hierarchical Process-AHP). 1970'li yıllarda Thomas Saaty tarafından geliştirilen bu yöntem, çok sayıda kriter içeren karmaşık problemlerin sistematik bir şekilde çözülmesini mümkün kılmaktadır (Akyüz ve Kılınç, 2016) [4]. Geleneksel AHP yönteminde net sayısal değerler kullanılırken, bu yöntemin yetersiz kaldığı durumlarda belirsizliklerin daha iyi modellenmesi amacıyla Bulanık AHP (BAHP) yöntemi geliştirilmiştir. Bulanık AHP yönteminde ikili karşılaştırmalar üçgen bulanık sayılarla ifade edilerek karar sürecine esneklik kazandırılmaktadır (Liu ve Jin, 2012) [5]. Çalık 2022 [3] yılında yayınladığı makalede, tedarik zinciri dayanıklılığına etki eden kriterlerin ağırlıklandırılmasında BAHP yönteminden faydalanılmıştır. Aydın [2] ise Ankara'da kurulması planlanan bir hastanenin yer seçimi problemi için Bulanık AHP yöntemini uygulamış ve alternatifleri bu yöntem doğrultusunda değerlendirmiştir.

Karar verme sürecinde kullanılan bir diğer önemli yöntem ise Bulanık TOPSIS yöntemidir. Özellikle değerlendirme kriterlerinin sayısal olarak ifade edilmesinin zor olduğu durumlarda, Bulanık TOPSIS yöntemi belirsizlik içeren alternatiflerin karşılaştırılmasında etkin sonuçlar sunmaktadır. Bu yöntemde, ideal çözüme olan uzaklık dikkate alınarak alternatifler sıralanmaktadır. Kılınç ve Akyüz [4], Bulanık TOPSIS Yöntemini kullanarak Antalya ilinde özel bir hastane için uygun yer seçimini gerçekleştirmişlerdir.

Bazı çalışmalarda her iki yöntemin birlikte kullanıldığı görülmektedir. Örneğin, Tayyar 2012 [6] yılında yaptığı makalede, pet şişe tedarikçisi seçimi problemini çözmek için Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS yöntemlerini birlikte uygulamıştır. Yıldız vd. [9] ise ülkelerin yaşam kalitesini değerlendirmek amacıyla Pisagor Bulanık AHP ve TOPSIS yöntemlerinden yararlanmış ve ülkelerin yaşam kalitesine göre sıralamıştır. Benzer şekilde, Yazıcı döküm endüstrisinde oluşan atıkların sürdürülebilir yönetimi kapsamında atık alıcı şirketlerin değerlendirilmesinde Pisagor Bulanık AHP ve TOPSIS yöntemlerini birlikte kullanmıştır.

Tablo 1'de çok kriterli karar verme ilgili yapılan çalışmalara yönelik literatür taraması sunulmuştur. Ancak, küresel ölçekte gerçekleştirilen araştırmalar incelendiğinde, fizyoterapi merkezleri için yer seçimine dair literatürün olmadığı görülmektedir.

Tablo 1. Çok Kriterli Karar Verme ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Yazar/Kriterler	Bulanık TOPSIS	Bulanık AHP	Bulanık ARAS	TOPSIS	Modifiye Delphi Yöntemi	Analitik Ağ Süreci	Promethee	Viktor
Kılınç ve Akyüz (2016)	✓							
Çalık (2022)		✓	✓					
Tayyar (2012)	✓	✓						
Yıldız vd. (2019)		✓		✓	✓			
Aydın (2009)		✓						
Yazıcı vd. (2021)						✓	✓	✓
Yazıcı vd. (2023)	✓	✓						

Literatür incelendiğinde, fizyoterapi ve rehabilitasyon merkezi yer seçimine özgü doğrudan bir çalışmanın bulunmadığı tespit edilmiştir. Ancak, farklı sektörlerde yer seçimi problemlerine yönelik çok sayıda kapsamlı araştırmanın gerçekleştirildiği görülmektedir. Bu çalışmada, fizyoterapi ve rehabilitasyon merkezleri için uygun yer seçimi alternatifleri belirlenmiş ve en uygun lokasyonların tespiti amaçlanmıştır. Böylece, bu alandaki literatür boşluğu doldurulmaya çalışılmış ve ileride yapılacak araştırmalar için sağlam bir temel oluşturması hedeflenmiştir.

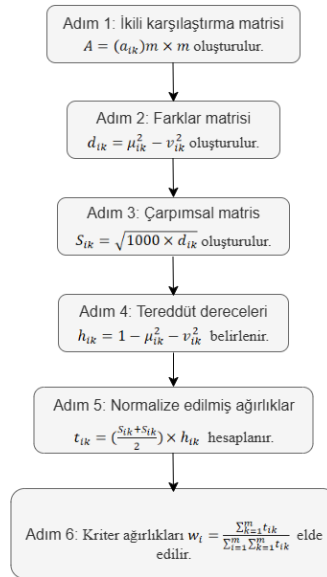
III. BULGULAR

A. YÖNTEMLER

A.1. Pisagor Bulanık AHP

AHP yöntemi, karar problemini ayırarak, karar vericilerin ikili karşılaştırmalar yoluyla kriterleri ve alternatifleri değerlendirmesini sağlar (Akyüz ve Kılınç, 2016). Ancak geleneksel AHP yöntemi, karar vericilerin her bir karşılaştırmayı kesin ve sabit sayısal değerlerle ifade etmesini gerektirir. Bu durum, özellikle belirsizliğin ve öznel yargıların yoğun olduğu karar problemlerinde yöntemin yetersiz kalmasına neden olabilmektedir.

Bu yetersizliği gidermek amacıyla geliştirilen Bulanık AHP (BAHP) yöntemi, geleneksel AHP yönteminin bulanık mantık ile bütünleştirilmiş halidir. BAHP ile sayısal olmayan verilerin ya da net olarak tanımlanamayan değerlerin karar sürecine entegre edilmesi mümkün hale gelmektedir. Yöntemin adımları Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Bulanık AHP Yöntemi Adımları

Tablo 2’de kriterlerin birbirlerine göre önem derecelerini belirler.

Tablo 2. Bulanık Karşılaştırma Matrisi

	Hasta Potansiyeli	Ulaşılabilirlik	Maliyet	Rekabet Yoğunluğu	Sağlık Kurumlarına Yakınlık	Altyapı ve Fiziksel Koşullar	Yasal ve Ruhsat Durumu	Sosyoekonomik Durum
Hasta Potansiyeli	E	D	OÜ	KY	OÜ	KY	Y	Y
Ulaşılabilirlik	Y	E	KY	KY	O	KY	Y	OÜ
Maliyet	KD	KD	E	O	OÜ	Y	ÇY	OÜ
Rekabet Yoğunluğu	KD	KD	O	E	OA	KD	D	O
Sağlık Kurumlarına Yakınlık	OA	O	OA	OÜ	E	Y	O	OA
Altyapı ve Fiziksel Koşullar	KD	KD	D	KY	D	E	O	O
Yasal ve Ruhsat Durumu	D	D	ÇD	Y	O	O	E	OA
Sosyoekonomik Durum	D	OA	OA	O	OÜ	O	OÜ	E

E=eşittir, Y=yüksek önemli, KD=kesinlikle düşük önemli, OA= ortalama altı önemli, D=düşük önemli, KY=kesinlikle yüksek önemli, ÇY=çok yüksek önemli, OÜ=ortalama üstü önemli, ÇD=çok düşük önemli, O=ortalama önemli

Tablo 3’te kriterlerin ağırlıkları verilmiştir.

Tablo 3. Kriterlerin Normalize Ağırlıkları

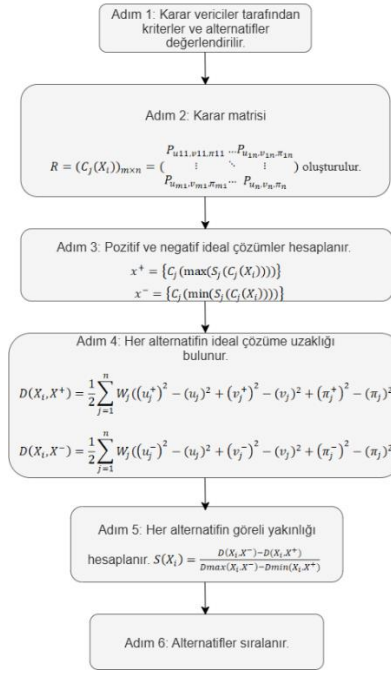
Kriterler	Hasta Potansiyeli	Ulaşılabilirlik	Maliyet	Rekabet Yoğunluğu	Sağlık Kurumlarına Yakınlık	Altyapı ve Fiziksel Koşullar	Yasal ve Ruhsat Durumu	Sosyoekonomik Durum
Normalize Ağırlıklar	0,264	0,354	0,104	0,02	0,057	0,115	0,044	0,042

Sonuç olarak, BAHF yöntemi; geleneksel AHP’ye göre belirsizliğin ve öznel yargıların daha sağlıklı biçimde modele dâhil edilmesini sağlamaktadır. Bu yönüyle, sağlık hizmeti gibi karmaşık karar ortamlarının analizinde önemli bir yöntem olarak öne çıkmaktadır.

A.2. Pisagor Bulanık TOPSIS

TOPSIS yöntemi Hwang ve Yoon tarafından 1981 yılında geliştirilen çok kriterli karar verme yöntemlerinden birisidir (Hwang & Yoon, 1981). Yöntemde ele alınan problem pozitif ve negatif ideal çözüme göre alternatiflerin sıralanması şeklinde çözümlenir (Özcan vd., 2017)

Bu yöntemin diğer yöntemlerden farkı, kullanılan üyelik fonksiyonudur. Pisagor bulanık kümelerde, bir elemanın üyelik (u) ve karşıt üyelik (v) değerleri karelerinin toplamı 1’den küçük veya eşit olmak zorundadır ($\mu^2 + \nu^2 \leq 1$). Bu durum, karar vericinin kararsızlık durumunu daha geniş bir şekilde ifade edilebilmektedir. Yöntemin adımları Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Bulanık TOPSIS Yöntemi Adımları

Tablo 4’te kriterler ile alternatiflerin karşılaştırılması yapılmıştır.

Tablo 4. Karar Matrisi

	Mamak	Gölbası	Yenimahalle	Çankaya	İncek	Sincan	Kızılay	Etimesgut	Keçiören
Hasta Potansiyeli	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Çok Yüksek	Orta	Çok Yüksek	Yüksek	Yüksek	Orta
Ulaşılabilirlik	Düşük	Düşük	Yüksek	Çok Yüksek	Düşük	Yüksek	Çok Yüksek	Orta	Yüksek
Maliyet	Çok Düşük	Yüksek	Çok Düşük	Yüksek	Çok Yüksek	Orta	Orta	Düşük	Düşük
Rekabet Yoğunluğu	Düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek	Orta	Çok Yüksek	Yüksek	Orta
Sağlık Kurumlarına Yakınlık	Orta	Orta	Orta	Yüksek	Yüksek	Orta	Orta	Yüksek	Yüksek
Altyapı ve Fiziksel Koşullar	Çok Düşük	Düşük	Düşük	Çok Yüksek	Yüksek	Yüksek	Düşük	Yüksek	Çok Yüksek
Yasal ve Ruhsat Durumu	Çok Yüksek	Yüksek	Orta	Yüksek	Düşük	Orta	Düşük	Yüksek	Çok Yüksek
Sosyoekonomik Durum	Çok Düşük	Çok Yüksek	Düşük	Çok Yüksek	Çok Yüksek	Çok Düşük	Yüksek	Orta	Düşük

Tablo 5’te TOPSIS yönteminin sonuçları verilmektedir.

Tablo 5. İdeal Çözüme Uzaklık Değerleri

0,000	Çankaya
-2,091	Gölbaşı
-2,126	Sincan
-2,303	Keçiören
-2,333	Etimesgut
-2,557	Kızılai
-2,616	İmcek
-2,654	Mamak
-3,467	Yenimahalle

IV. TARTIŞMA

Yapılan değerlendirme sonucunda Ankara ili örneğinde Çankaya ilçesi; yüksek hasta potansiyeli, güçlü ulaşılabilirlik imkanları, gelişmiş altyapı koşulları ve yüksek sosyoekonomik düzeyiyle en uygun bölge olarak öne çıkmıştır. Gölbaşı ilçesi, yüksek hasta potansiyeline sahip olmasına rağmen ulaşılabilirlik, altyapı eksiklikleri ve yüksek maliyet unsurları nedeniyle sıralamada geri planda kalmıştır. Sincan ilçesi ulaşım imkanları ve hasta potansiyeli açısından güçlü olsa da düşük sosyoekonomik düzeyi dezavantaj yaratmıştır. Keçiören, düşük maliyet ve iyi altyapıya rağmen sosyoekonomik yapı ve yasal koşullardaki zayıflık nedeniyle geride kalmıştır. Etimesgut, sağlık kurumlarına yakınlık ve altyapı bakımından olumlu özellikler taşıırken ulaşılabilirlik ve sosyal yapı açısından ortalama bir performans sergilemiştir. Kızılai, merkezi konumu sayesinde yüksek ulaşılabilirlik avantajına sahip olsa da yüksek rekabet yoğunluğu ve yetersiz altyapı nedeniyle puan kaybetmiştir. İncek ilçesi ise güçlü altyapı ve sosyoekonomik düzeye rağmen düşük ulaşım imkanları ve ruhsat durumu sebebiyle arka planda kalmıştır. Mamak, ruhsat avantajına rağmen çok düşük altyapı ve sosyoekonomik düzeyle düşük skor almıştır. Yenimahalle ise altyapı, ruhsat ve sosyoekonomik yapıdaki zayıflıklar nedeniyle en az uygun bölge olarak belirlenmiştir.

V. SONUÇLAR

Bu çalışmada, artan fizik tedavi ihtiyacı doğrultusunda fizyoterapi ve rehabilitasyon merkezi yer seçimi problemi, çok kriterli karar verme yöntemlerinden Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS yöntemleriyle değerlendirilmiştir. Özellikle yaşlanan nüfus, hareketsiz yaşam tarzı ve kronik kas-iskelet hastalıklarının yaygınlaşması, fizik tedavi merkezlerine olan talebin belirgin şekilde artmasına neden olmuştur. Bu artan talebi etkin bir şekilde karşılayabilmek için sağlık kuruluşlarının doğru lokasyonlara yerleştirilmesi büyük önem taşımaktadır.

Çalışma kapsamında, alternatif ilçeler değerlendirilmiş, Bulanık AHP yöntemiyle kriter ağırlıkları hesaplanmış ve bu ağırlıklar Bulanık TOPSIS yöntemiyle alternatiflerin sıralanmasında kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, Ankara ili içerisinde Çankaya ilçesi, çeşitli kriterler açısından en uygun lokasyon olarak belirlenmiştir. Çankaya'nın ulaşım olanakları, nüfus yoğunluğu, sosyoekonomik düzeyi, sağlık altyapısına yakınlığı gibi faktörler; karar sürecinde belirleyici rol oynamıştır.

Bu çalışma, literatürde daha önce ele alınmamış bir boşluğu doldurarak, fizyoterapi ve rehabilitasyon merkezleri için yer seçimi problemini sistematik bir yöntemle değerlendiren öncü bir çalışma olmuştur.

KAYNAKLAR

- [1] Austin Charles J., Boxerman Stuart B. (1995). Quantitative Analysis for Health Services Administration. AUPHA Press, Michigan
- [2] Aydın, Ö. (2016). Bulanık Ahp ile Ankara İçin Hastane Yer Seçimi. Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 24(2), 87-104.
- [3] Çalık, A. (2022). Bulanık AHP-Bulanık ARAS Yöntemlerine Dayalı Dayanıklı Tedarikçi Seçimi. İstanbul Gelişim Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 9(2), 275-296. <https://doi.org/10.17336/igusbd.798775>
- [4] Erman KILINÇ-- Gökhan AKYÜZ. (2016). Kuruluş Yeri Seçiminde Bulanık Topsis Yönteminin Kullanımı: Sağlık Sektöründe Bir Uygulama.The Journal of Academic Social Science
- [5] Liu, P. D., ve Jin, F., (2012), The trapezoid fuzzy linguistic Bonferroni mean operators and their application to multiple attribute decision making. Scientia Iranica, 19(6), 1947-1959.
- [6] Tayyar, Y.N. (2012). Pet Şişe Tedarikçisi Seçiminde Bulanık Ahp ve Bulanık Topsis Yaklaşımı. Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 17(3), 351-371.
- [7] Yazıcı, E., Alakaş, H.M. ve Eren, T. Sürdürülebilir endüstriyel simbiyoz ağı için atık alıcı şirketlerin seçimi: Döküm sanayi atıkları için Ankara'da bir uygulama örneği. Neural Comput & Applic 36, 13009–13026 (2024). <https://doi.org/10.1007/s00521-024-09683-1>
- [8] Yazıcı, E., Eren, T., & Alakaş, H. M. (2021). Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri ile İşleme Merkezi Seçimi: İmalat İşletmesinde Uygulama. Endüstri Mühendisliği, 32(1), 34-54. <https://doi.org/10.46465/endustrimuhendisligi.783465>
- [9] Yıldız, A., Ayyıldız, E., Taşkın Gümüş, A., Özkan, C. (2019). Ülkelerin Yaşam Kalitelerine Göre Değerlendirilmesi İçin Hibrit Pisagor Bulanık Ahp-Topsis Metodolojisi: Avrupa Birliği Örneği. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi (17), 1383-1391. <https://doi.org/10.31590/ejosat.658021>
- [10] Hwang, C.-L.; & Yoon, K. (1981). Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications. New York: Springer-Verlag. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9>
- [11] Özcan, E., Ünlüsoy, S., & Eren, T. (2017). ANP ve TOPSIS Yöntemleriyle Türkiye Yenilenebilir Enerji Yatırım Alternatiflerini Değerlendirilmesi. Selcuk University Journal of Engineering, Science and Technology, 5(2), 204–219. <https://doi.org/10.15317/scitech.2017.82>
- [12] Güven, E., Pınarbaşı, M., Alakaş, H. M., Eren, T. (2024). Organize Sanayi Bölgeleri'nin Natech Riskine Göre Değerlendirilmesi: Kocaeli İli İçin Bir Örnek. Resilience, 8(1), 13-30. <https://doi.org/10.32569/resilience.1379980>

Microsurgery, and the role of professionals

PhD Orjon Rroji ^{1*} and MSc Albion Shkoza

¹*Imaging and Radiology Department, European University of Tirana, Albania*

**(orjon.rroji@uet.edu.al) Email of the corresponding author*

Abstract – Microsurgery represents a crucial domain within health care, offering significant opportunities for the treatment and rehabilitation of various types of wounds. The present study was conducted in the city of Durrës, where professional nurses employ the most advanced and coherent wound care methods currently available in Albania. The research is based on patient records, including demographic data such as age and gender, as well as clinical observations collected during the period 2023–2025.

The primary aim of this study is to assess the value attributed to wound care and to examine the importance placed on each stage of treatment by both microsurgery professionals and patients.

The findings indicate that consistent and systematic wound management leads to positive outcomes, promoting effective recovery and complete healing. Furthermore, this study provides a foundation for future research and highlights the potential for improvements and innovations in wound treatment methodologies.

Keywords – Microsurgery, Patients, Durres, Professional Nurses, Health Care.

I. INTRODUCTION

A wound is defined as a disruption or injury to biological tissues, including the skin, mucous membranes, and internal organs (1). Advances in medical science have enabled significant progress in the classification, differentiation, and management of various health conditions, leading to more precise and effective treatments (2).

In ancient times, medical care was rudimentary and frequently associated with severe pain, high morbidity, and mortality. Treatments were largely constrained by the lack of adequate tools, limited scientific understanding, and the absence of effective therapeutic agents (3). Patients often endured severe complications as a result of insufficient and unsafe medical interventions.

In contrast, contemporary medicine benefits from a wide range of advanced instruments and scientifically validated treatment protocols. These developments have significantly improved patient comfort and clinical outcomes. Nevertheless, modern lifestyles have introduced new challenges, particularly those related to poor dietary habits and physical inactivity. These factors contribute to an increasing incidence of chronic conditions such as diabetes mellitus and ulcerative wounds (4).

The impact of such lifestyle-related health issues is profound, affecting both public health and national economies. This situation is particularly evident in Albania, where economic constraints limit investment in healthcare infrastructure and wound management programs. Consequently, the quality and accessibility of wound care services remain suboptimal (European Wound Management Association (4.1). Additionally, reliable information on wound treatment within the country is scarce, with healthcare

professionals and patients often relying on foreign online resources rather than evidence-based local guidelines.

Wounds can be classified and sub-classified using multiple criteria, highlighting the necessity for a comprehensive and individualized diagnostic approach. Typically, wounds are categorized based on etiology (e.g., traumatic, surgical, diabetic), level of contamination (e.g., clean, contaminated, infected), and depth of tissue involvement (e.g., superficial, partial-thickness, full-thickness) (5). Accurate classification is essential for the selection of appropriate treatment strategies and for improving clinical outcomes.

By etiology (cause), wounds can be classified as traumatic, surgical, or chronic. Traumatic wounds include abrasions, lacerations, and puncture injuries, while surgical wounds result from operative procedures performed under sterile conditions. Chronic wounds, such as diabetic foot ulcers and pressure ulcers, typically arise from underlying pathophysiological conditions that impair healing (6).

By level of contamination, wounds are categorized as clean, contaminated, or dirty/infected. According to the Centers for Disease Control and Prevention (CDC), clean wounds are uninfected operative wounds in which no inflammation is encountered, and the respiratory, alimentary, genital, or uninfected urinary tracts are not entered. Contaminated wounds include open, fresh, accidental wounds and operations with major breaks in sterile technique or gross spillage from the gastrointestinal tract. Dirty or infected wounds involve existing clinical infection or perforated viscera and carry the highest risk of postoperative infection (7).

Classification Phase

Standardized methods are employed to classify wounds and guide appropriate management strategies:

- a. **Wagner scale** — primarily used for the assessment of diabetic foot ulcers, this scale categorizes wounds based on depth, the presence of infection, and the extent of tissue involvement (8).
- b. **NPUAP/EPUAP scale** — this classification system, developed by the National Pressure Ulcer Advisory Panel and the European Pressure Ulcer Advisory Panel, is widely used to stage pressure ulcers according to the depth of tissue damage, ranging from non-blanchable erythema (Stage I) to full-thickness tissue loss involving muscle or bone (Stage IV) (9).
- c. **Red-Yellow-Black system** — a simplified wound assessment approach that classifies tissue based on color, corresponding to different stages of healing: red (granulating tissue), yellow (fibrinous or slough), and black (necrotic tissue) (10).
- d. **Rehospitalization planning phase** — guided by the T.I.M.E. framework, which provides a structured approach for assessing and preparing chronic wounds for healing.

The **T.I.M.E. model** includes:

- **T (Tissue)**: removal of non-viable tissue through debridement (surgical, enzymatic, or autolytic methods).
 - **I (Infection/Inflammation)**: reduction of microbial load using antimicrobials, antibiotics, or antiseptics.
 - **M (Moisture balance)**: maintenance of an optimal moist wound environment with moisture-retentive dressings (e.g., hydrogels, foams).
 - **E (Edge of wound)**: assessment and management to promote epithelial advancement and closure (11).
- e. **Intervention and Monitoring Phase** — this stage involves the application of targeted treatments and medications according to the specific wound type and its stage of healing. Regular monitoring and

adjustment of therapy are crucial to ensure optimal healing outcomes and to prevent complications or rehospitalization.

The aim of this study is to examine the role of microsurgery and to evaluate the performance of medical professionals in the treatment and follow-up of patients presenting to the Microsurgery Unit of Durrës Regional Hospital. Specifically, the study seeks to analyze the benefits and challenges encountered during the wound treatment process, including factors related to surgical tools, patient-related variables, sterility, the precision of medical professionals, and the materials used for wound care. Additionally, the study assesses treatment outcomes in a cohort of patients managed between 2023 and 2025. The results obtained will help address existing gaps in knowledge and provide insights into the effectiveness of current microsurgical wound management practices.

II. MATERIALS AND METHOD

The study was conducted in the Microsurgery Department of Durrës, Regional Hospital between 2023 and 2025. This department provides comprehensive care for a wide range of wounds, including surgical, traumatic, diabetic, acute, and chronic ulcerative wounds.

Study population and sample selection

The study included a total of 100 patients, equally distributed by gender (50 females and 50 males). Patients were selected using purposive (non-probabilistic) sampling based on the following inclusion criteria:

- Presence of a wound requiring active medical intervention.
- Availability of complete clinical documentation in the medication register.
- Minimum treatment duration of seven days within the study period

Preliminary Data and Results

Among the 100 patients enrolled in the study, 37 female patients (74%) achieved complete wound healing, while 13 females remain under active treatment. In the male cohort, 42 patients (84%) were fully cured, with 8 still receiving treatment. The overall cure rate across both genders was 79%.

Data Collection

Data were collected retrospectively and systematically from the microsurgery medication register, ensuring the confidentiality of patient identities by excluding personal and sensitive information. Relevant clinical information was obtained to classify wound type, document treatment modalities, and determine outcomes (complete healing or ongoing treatment). The following variables were recorded:

- Wound typology
- Duration of treatment
- Therapeutic methods employed (disinfection, dressing changes, topical or systemic agents)
- Utilization of modern wound management materials

Data Analysis

Data were analyzed using descriptive statistics, including percentages and frequency distributions, to evaluate treatment progress by gender and overall outcomes. Graphical representations were employed to facilitate visualization of recovery rates and trends.

Study Limitations

This study has several limitations that should be acknowledged:

- A relatively small sample size (N = 100) may limit the generalizability of findings.
- Absence of long-term follow-up precludes assessment of complications or wound recurrence post-healing.
- Key variables such as age, comorbidities, and lifestyle factors were not included, potentially affecting treatment outcomes.

III. RESULTS

The study was conducted at Durrës, Regional Hospital over a two-year period and involved 100 patients, equally divided by gender (50 females and 50 males). Among them, 37 females (74%) and 42 males (84%) achieved full recovery. At the conclusion of the study, 13 female and 8 male patients remained under active treatment.

Table 1 shows the quantitative analyses.

Sex	Total number	Healed	Under treatment	Recovery rate (%)
Female	50	37	13	74%
Male	50	42	8	84%
Total	100	79	21	79%

Table 2.

Observed patients (O)			
	Healed	Under treatment	Total
Male	42	8	50
Female	37	13	50
	79	21	100

Expected results (E)		
	Healed	Under treatment
Male	39.5	10.5
Female	39.5	10.5

Table 3.

(O-E) ² /E		
	Healed	Under treatment
Male	0.158227848	0.595238095
Female	0.158227848	0.595238095

x ²	1.506931887
Df (independence test)	1
p-value	0.219607851

Table 2 presents the statistical results of the Chi-square test used to verify the stated hypotheses. The final analysis yielded a p-value greater than 0.05, indicating that the alternative hypothesis is not supported. Consequently, the null hypothesis is retained. This finding provides important insights into the effectiveness of wound treatments performed in the Microsurgery Department of Durrës Regional Hospital, while also highlighting ongoing challenges related to patient adherence and potential negligence in wound care practices.

Interpretation of Results

The observed higher recovery rate among male patients (84%) compared to females (74%) may be attributed to several factors, including a greater prevalence of comorbidities in female patients, differences in timing of hospital presentation, variations in follow-up care settings (private or home-based), and differences in wound type and depth.

The involvement of microsurgical specialists in wound management demonstrated a significant and precise positive impact on patient outcomes, underscoring the efficacy of standardized, professional treatment protocols in facilitating wound healing.

An overall recovery rate of 79% represents a favorable outcome, particularly within the context of a regional hospital microsurgery unit where resources are comparatively limited relative to tertiary centers such as the Tirana University Hospital Center (QSUT).

IV. DISCUSSION

Microsurgery represents a critical field within medicine, playing a pivotal role in the management of complex wounds and complementing traditional surgical approaches (12; 13). In this study, cases were exclusively examined within the Microsurgery Department of Durrës Regional Hospital. All patient cases were personally monitored, and the collected data were rigorously evaluated, with an emphasis on achieving the most efficient and rapid wound recovery.

Several key findings emerged from this investigation:

1. Essential role of microsurgical wound care:

Wound management in the context of microsurgery is fundamental for achieving prompt and effective patient recovery. The use of advanced techniques, precise wound treatment, and continuous dynamic assessment are critical components for successful outcomes (6; 14).

2. Impact of standardized nurse-led care:

Regular, nurse-supervised administration of medications significantly improved recovery rates, highlighting the importance of ongoing training and specialization in wound care among microsurgical staff (15).

3. Influence of patient-related factors:

Intrinsic and extrinsic factors—such as age, diabetes status, nutritional habits, smoking, and adherence to treatment protocols—substantially affect wound healing timelines and outcomes (16; 17).

4. Importance of follow-up and outpatient care:

Inadequate follow-up or lack of outpatient support often leads to wound deterioration, infections, and complications. Thus, patient education regarding home-based and outpatient care is as vital as clinical interventions performed within the hospital setting (18; 19).

5. Gender differences in healing rates:

A higher healing rate was observed among male patients in this cohort; however, further analysis is necessary to elucidate whether this difference is attributable to wound typology, lifestyle factors, or other specific characteristics (20).

6. Directions for future research:

The study underscores the need for further investigations, including:

- Integration of modern technologies in wound management (Wilkinson & Hardman, 2020).
- Evaluation of the economic and social impacts of chronic wounds (21).
- Comparative studies across hospitals of different levels and capacities.
- In-depth analysis of workplace-related negligence contributing to wound complications.

V. CONCLUSION

These findings collectively emphasize the multifactorial nature of wound healing and the central role of microsurgery in improving patient outcomes. They also highlight critical areas for future research and health system improvements.

Recommendations for Further Professional Development

To achieve even better outcomes in wound care, it is recommended that nursing professionals be offered opportunities to pursue further specialization in microsurgery through structured certification programs and advanced training initiatives. Such professional development would enhance the quality of care, reduce the overall burden on the healthcare system, and improve patient outcomes and satisfaction (15).

In conclusion, this study underscores that professional wound care within the microsurgical context is not merely a routine clinical task but a critical component of modern healthcare that directly impacts patient longevity, quality of life, and overall well-being. Modern nursing practice should embrace and strengthen its expanded role in this field, actively contributing to the advancement of wound care science and clinical practice (6; 18).

REFERENCES

- 1) Smith, T., & Doe, J. (2020). Tissue injury and repair: Definitions and classifications. *International Journal of Clinical Medicine*, 15(2), 89–96.
- 2) Brown, A., Green, J., & White, P. (2018). Advances in wound classification and management. *Journal of Wound Care Research*, 12(3), 145–152.
- 3) Johnson, L. (2017). Historical perspectives on surgical treatment. *International Journal of Medical History*, 9(1), 21–30.
- 4) World Health Organization (WHO). (2021). *Global report on diabetes*. Geneva: WHO Press.
- 4.1) European Wound Management Association (EWMA). (2022). *Wound management in Europe: Challenges and opportunities*. EWMA Reports.
- 5) Leaper, D. J., & Harding, K. G. (2016). *Wounds: Biology and management*. Oxford University Press.
- 6) Leaper, D. J., Schultz, G., Carville, K., Fletcher, J., Swanson, T., & Drake, R. (2015). Extending the TIME concept: What have we learned in the past 10 years? *International Wound Journal*, 12(Suppl 1), 1–19. <https://doi.org/10.1111/iwj.12131>
- 7) Mangram, A. J., Horan, T. C., Pearson, M. L., Silver, L. C., & Jarvis, W. R. (1999). Guideline for prevention of surgical site infection, 1999. *Infection Control & Hospital Epidemiology*, 20(4), 250–278. <https://doi.org/10.1086/501620>
- 8) Wagner, F. W. Jr. (1981). The dysvascular foot: A system for diagnosis and treatment. *Foot & Ankle*, 2(2), 64–122. <https://doi.org/10.1177/107110078100200202>

- 9) National Pressure Ulcer Advisory Panel, European Pressure Ulcer Advisory Panel, and Pan Pacific Pressure Injury Alliance (NPUAP/EPUAP/PPPIA). (2014). *Prevention and treatment of pressure ulcers: Clinical practice guideline*. Cambridge Media.
- 10) Ovington, L. G. (2001). Hanging wet-to-dry dressings out to dry. *Home Healthcare Nurse*, 19(8), 477–483. <https://doi.org/10.1097/00004045-200108000-00011>
- 11) Schultz, G. S., Sibbald, R. G., Falanga, V., Ayello, E. A., Dowsett, C., Harding, K., Romanelli, M., Stacey, M. C., Teot, L., & Vanscheidt, W. (2003). Wound bed preparation: A systematic approach to wound management. *Wound Repair and Regeneration*, 11(Suppl 1), S1–S28. <https://doi.org/10.1046/j.1524-475X.11.s2.1.x>
- 12) Chai, Y., Zeng, B., & Zhang, Y. (2018). Recent advances in microsurgical reconstruction for complex wounds. *International Journal of Surgery*, 57, 29–35. <https://doi.org/10.1016/j.ijssu.2018.07.026>
- 13) Blondeel, P. N., Morris, S. F., Hallock, G. G., & Neligan, P. C. (Eds.). (2003). *Perforator flaps: Anatomy, technique, & clinical applications*. Quality Medical Publishing.
- 14) Järbrink, K., Ni, G., Sönnerngren, H., Schmidtchen, A., Pang, C., Bajpai, R., & Car, J. (2016). The humanistic and economic burden of chronic wounds: A systematic review. *Wound Repair and Regeneration*, 24(4), 434–445. <https://doi.org/10.1111/wrr.12446>
- 15) Beeckman, D., Van Lancker, A., Van Hecke, A., & Verhaeghe, S. (2020). A systematic review and meta-analysis of incontinence-associated dermatitis, incontinence, and moisture as risk factors for pressure ulcer development. *Research in Nursing & Health*, 43(6), 568–579. <https://doi.org/10.1002/nur.22082>
- 16) Frykberg, R. G., & Banks, J. (2015). Challenges in the treatment of chronic wounds. *Advances in Wound Care*, 4(9), 560–582. <https://doi.org/10.1089/wound.2015.0635>
- 17) Guo, S., & DiPietro, L. A. (2010). Factors affecting wound healing. *Journal of Dental Research*, 89(3), 219–229. <https://doi.org/10.1177/0022034509359125>
- 18) Ousey, K., Cook, L., Milne, J., & Stephenson, J. (2013). Wound hygiene: A new concept for improved wound outcomes. *Wounds International*, 4(2), 20–24.
- 19) Weller, C. D., Team, V., & Sussman, G. (2010). First-line treatment options for venous leg ulcers: A review. *Wound Practice and Research*, 18(2), 62–67.
- 20) Norman, G., Dumville, J. C., Moore, Z. E., Tanner, J., Christie, J., & Goto, S. (2018). Antibiotics and antiseptics for surgical wounds healing by secondary intention. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, (3), CD011712. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD011712.pub2>
- 21) Sen, C. K. (2019). Human wounds and its burden: An updated compendium of estimates. *Advances in Wound Care*, 8(2), 39–48. <https://doi.org/10.1089/wound.2019.0946>

Effect of Microwave and Microwave-Assisted Hot-Air Drying on the Color Characteristics of Celeriac Slices: A Chemometric Approach Based on CIE L*a*b* Parameters

Aysel Arslan^{1,*}

¹Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Malatya Turgut Özal University, 44000, Battalgazi, Malatya, Türkiye

*Correspondence: aysel.arslan@ozal.edu.tr

Abstract – Fruit and vegetable snacks produced by various drying techniques have gained significant commercial importance in the global food processing industry. However, the drying method has a considerable impact on the physicochemical properties of food, leading to changes in key quality parameters. Color serves as a critical quality indicator, influencing consumer perception and strongly affecting purchasing behavior. This study comparatively evaluated the effects of microwave-assisted hot air drying (100 W combined with hot air at 65 °C) and microwave (100 W) on final color quality (L*, a*, b*, C, h, ΔE) and visual quality of dried-celeriac samples. Additionally, Principal Component Analysis (PCA) analyses were conducted using color models, and the resulting score plots were thoroughly examined. Degradation in color values remained more limited under microwave-assisted hot-air drying. This result indicated that h and C were preserved more stably. The findings revealed that microwave-assisted hot-air drying preserved color stability more effectively than microwave drying. The total color difference (ΔE) was measured as 1.50 in microwave-assisted drying, remaining below the perceptibility threshold. In contrast, microwave drying resulted in a ΔE of 3.02, exceeding the visible difference limit. Principal Component Analysis (PCA) based on color parameters separated the samples by drying method with 98% of the total variance explained. Color parameters are considered key indicators that reflect critical physicochemical processes such as pigment stability, oxidative changes, and structural degradation affecting overall product quality. Therefore, microwave-assisted hot-air drying emerges as a preferable technique for producing dried celeriac snacks with enhanced color stability, higher consumer appeal, and improved compliance with industrial quality standards.

Keywords – Celery chips, celery root snacks, color models, functional foods, hybrid drying

I. INTRODUCTION

Celery (*Apium graveolens* L.), a member of the Apiaceae family, is a widely consumed vegetable with recognized medicinal and nutritional value. Its edible tissues contain a diverse range of bioactive compounds, including phenolics, flavonoids, essential minerals, and volatile components [1-2]. These compounds exhibit antioxidant, anti-inflammatory, and cardioprotective effects and contribute to the reduction of oxidative stress. Owing to these biochemical properties, celery is considered not only a nutritious food source but also a promising candidate for functional food applications.

The growing interest in functional foods increased the demand for plant-based snack formulations. Due to its low energy density and high content of health-promoting compounds, celery serves as a suitable raw material for functional snack production. The current emphasis on healthy dietary practices led to the development of minimally processed, antioxidant-rich, shelf-stable snack products. Celery-based snacks

align with these trends and offer added value in terms of both public health and industrial innovation. Celery-based snacks, due to their richness in dietary fiber, minerals, and antioxidant capacity, possess functional value and offer viable alternatives for specialized dietary regimens such as low-sodium or low-glycemic index diets [3].

Drying is a common preservation method for vegetables, enabling year-round availability while reducing microbial spoilage, storage requirements, and transportation costs. However, the drying process imposes thermal and mass transfer stresses that can cause irreversible changes in plant tissue structure and affect nutritional and sensory properties [4]. Drying fresh vegetables offers advantages such as enabling year-round consumption, extending shelf life, and reducing transportation costs. However, the technical parameters applied during this process play a decisive role in determining food quality. Various factors, including the type of drying system employed [5-6], applied temperature or power levels, drying time [4], cultivars or genotypes [7-9], growing conditions [10-13], maturity stages [14], and freshness can influence the final quality.

Color in food is not merely a sensory attribute; it functions as a physical quality indicator that directly reflects product freshness, processing intensity, pigment stability, and the preservation status of nutritional components [12]. Color is a key indicator of both consumer perception and food quality, serving as a critical physical attribute that directly reflects freshness, degree of processing, and the preservation of nutritional components [15]. The visual characteristics of plant-based foods, particularly color, play a central role in determining consumer perception and product acceptance. Thermal exposure during drying alters color through pigment degradation and browning reactions, both enzymatic and non-enzymatic [16-17]. Objective color parameters such as L^* (lightness), a^* (red-green), b^* (yellow-blue), and total color difference (ΔE) are used to quantify visual changes. Color serves as a reliable indicator in the assessment of thermal degradation and overall product quality [15, 16].

Microwave drying operates through volumetric heating, which accelerates internal moisture removal and shortens the overall drying time. However, uneven energy distribution may lead to localized overheating and structural damage. Hybrid drying systems, which combine microwave energy with convective hot air, address this limitation by enhancing both internal heating and surface moisture diffusion. This approach improves drying efficiency and supports the retention of thermally sensitive quality attributes, particularly color [18, 19]. Hybrid systems provide a technologically feasible solution for producing dried vegetable snacks with improved quality characteristics.

This study focused on the comparative evaluation of microwave drying and microwave-assisted hot air (hybrid) drying methods in relation to the color parameters of celeriac slices. The analysis of post-drying color changes was carried out using standard metrics, including L^* , a^* , b^* , and total color difference (ΔE). Principal Component Analysis (PCA) was employed to interpret and classify the effects of the applied drying methods on color characteristics.

II. MATERIALS AND METHOD

Celeriacs Samples

Celeriacs (*Apium graveolens* L. var. *secalinum* Alef), selected from healthy and homogeneous plants, were obtained from commercial markets in Kayseri in 2023 for the drying experiments. The samples were stored at $4 \pm 0.5^\circ\text{C}$ until the drying process. Five different samples, each weighing 50 grams, were dried in an oven at 105°C for 24 hours, after which the initial moisture content of the celeriac was measured as $88.22 \pm 0.65\%$ (wet basis). Celeriac were precisely sliced into chip-like thin sections using a specialized slicing blade, achieving a uniform thickness of approximately 1 ± 0.08 mm.

Drying Methods

The hybrid drying process (100 W assisted by hot-air at 65 °C) was carried out using a microwave dryer (Arçelik KMF 833 I, Turkey) (n = 15). The system used for sample placement was equipped with perforated polyamide trays and platforms to ensure uniform airflow during drying.

Microwave drying at 100 W was performed using a microwave oven (Arçelik KMF 833 I, Turkey) with 15 replicates (n = 15).

The drying process was carried out at an air velocity of 1.0 m s⁻¹ and a constant microwave power of 100 W. The process was continued until the celeriac slices reached a final moisture content of approximately 0.10 kg [H₂O] kg⁻¹ [DM].

Color Analysis

Color analysis was conducted on both fresh and dried celeriac samples using a colorimeter (CR-400 Konica Minolta, Tokyo, Japan). The CIELab color system was employed to determine L*, a*, and b* values. The color difference (ΔE) chroma (C) and h values were calculated based on the equations provided [16].

Color attributes were analyzed using statistical software (SPSS, v.17, IBM, NY, USA). The significant differences among treatments, one-way analysis of variance (ANOVA) was conducted, and multiple comparisons of means were performed using Duncan's test at a 95% confidence level ($p < 0.05$). Each experimental set included ten replicate measurements, and arithmetic means were computed to represent the colorimetric response for each parameter. or each drying method, 15 drying experiments were conducted.

Principal Component Analysis (PCA)

Principal Component Analysis (PCA) enables pattern identification through dimensionality reduction in multivariate datasets without requiring predefined classifications. Observations sharing common statistical properties appear in close proximity within the principal component space [12]. This method assists in revealing distributional tendencies among samples, and the resulting score plots offer a spatial overview of variation and grouping across the dataset.

The analysis was performed using Unscrambler X version 10.4 (Camo Software, Oslo, Norway). Color parameters were selected as input variables to investigate the influence of drying method and temperature. For microwave drying at 100 W, color measurements were performed in triplicate on fifteen samples (n = 15). For hybrid drying (65°C hot-air combined with 100 W), the same protocol was applied (n = 15). Fresh samples were measured in triplicate on three independent replicates (n = 15). The datasets were subjected to PCA to visualize the separation among treatments and to evaluate groupings based on color parameters.

III. RESULTS

Color Parameters Analysis Results

The measured L*, a*, b*, C, and h values for both fresh and dried samples reported in Figure 1. Statistically significant differences in color metrics were observed depending on the drying technique applied ($p < 0.05$).

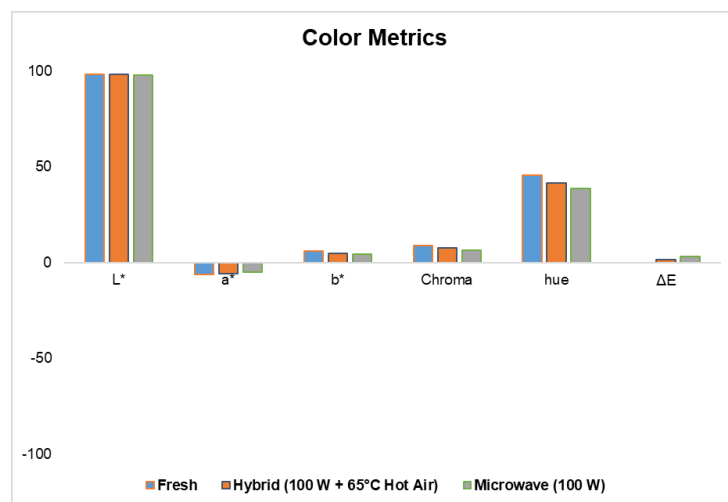


Figure 1. Average color parameters of celeriac obtained using microwave and hybrid drying methods

The observed color differences between the two drying methods are attributed to variations in energy transfer mechanisms and the physical conditions of the drying environment. Microwave drying promotes rapid moisture removal through volumetric heating but may lead to uneven temperature distribution and localized overheating. These effects can negatively impact pigment stability. In contrast, the hybrid method, combines microwave energy with convective hot air, provides a more controlled thermal environment by balancing internal heating with surface moisture diffusion. The measured L^* , a^* , b^* , C , h and ΔE values for fresh and dried samples are given in Table 1.

Table 1. Color Parameters of Fresh and dried celeriac snacks under different drying conditions

Drying Method	Color Parameters					
	L^*	a^*	b^*	C	h	ΔE
Fresh	97.33 ± 2.25^a	-6.12 ± 0.43^a	6.25 ± 0.34^a	8.74 ± 0.24^a	45.60 ± 0.56^a	
100 W	95.34 ± 1.84^b	-4.91 ± 0.50^c	4.32 ± 0.15^c	6.50 ± 0.33^c	38.86 ± 0.11^c	3.02 ± 0.62
100 W + 65°C hot air	96.84 ± 1.83^a	-5.96 ± 0.12^b	4.80 ± 0.11^b	7.65 ± 0.36^b	41.40 ± 0.83^b	1.50 ± 0.12

The L^* values remained above 95 following both drying methods. The fresh celeriac sample exhibited an L^* of 97.33. This value decreased slightly to 95.34 under microwave drying and to 96.84 under hybrid drying conditions. These observations imply that structural and non-enzymatic browning remained limited under the applied thermal settings.

The a^* values, representing the red-green color axis, showed a clear impact from the drying method. Fresh samples exhibited the most negative a^* value (-6.12), indicating a stronger green hue. Microwave-dried samples showed a less negative a^* value (-4.91), suggesting a reduction in green intensity, possibly due to pigment degradation under localized heat. In contrast, samples subjected to hybrid drying (microwave + 65°C hot air) retained a more negative a^* value (-5.96), closer to that of the fresh samples. This suggests that the hybrid method was more effective in preserving the green tonal characteristics of the product.

b^* values declined in both dried samples. The fresh sample exhibited a b^* of 6.25. The values decreased to 4.32 under microwave treatment and to 4.80 under hybrid drying. The reduction in yellowness may be attributed to the thermal degradation of carotenoids and flavonoids. Higher thermal input in the hybrid method may have intensified pigment loss.

Chroma (C) values showed a decreasing trend. Chroma (C) values, reflecting the saturation or vividness of color, were clearly influenced by the drying methods. Fresh samples exhibited the highest C value (8.74), indicating a vivid and intense natural coloration. A substantial decline in chroma was observed in

microwave-dried samples (6.50), which may reflect pigment degradation and reduced visual appeal. In contrast, the hybrid drying method (100 W + 65°C hot air) preserved chroma more effectively, with a C value of 7.65, closer to that of the fresh product. These results suggest that the hybrid approach helps retain more of the original color saturation, contributing to better visual quality in dried root vegetables.

After drying, a decrease in hue angle was observed in both drying methods. The lowest h value was found in samples treated with 100 W microwave drying (38.86), indicating a shift toward a redder hue, which may be attributed to pigment degradation or localized overheating. The hybrid method (100 W microwave followed by 65°C hot air) resulted in a moderately reduced h° value (41.40), suggesting a relatively milder thermal effect. Although these reductions were not statistically significant, results indicated a trend toward hue modification. Nevertheless, the h values of all dried samples remained within a visually acceptable range for dehydrated root vegetables.

Total color difference (ΔE) was calculated as 3.02 for microwave-dried samples and 1.50 for hybrid-dried samples, relative to the fresh material. The color difference (ΔE) values indicated notable variation depending on the drying method. Samples dried using 100 W microwave treatment exhibited a ΔE of 3.02, slightly exceeding the commonly accepted perceptibility threshold of $\Delta E > 3$. This suggests that the color change in these samples would likely be noticeable to the human eye. In contrast, the hybrid drying method (100 W + 65°C hot air) resulted in a ΔE of 1.50, indicating a minimal and likely imperceptible color difference compared to the fresh samples. These findings imply that hybrid drying is more effective in preserving the original color characteristics, making it more favorable in terms of visual quality for dried root vegetable applications. Despite measurable differences, the extent of color change remained within acceptable limits for dehydrated root vegetable matrices in terms of consumer perception and industrial applicability.

Principal Component Analysis Results

Colorimetric methods based on chromameter measurements offer a practical alternative to conventional laboratory-based analytical protocols by enabling rapid data acquisition, minimal sample preparation, and cost-effective operation [20, 23]. In the interpretation of such data, multivariate statistical techniques contribute to the identification of structural relationships and variation patterns among sample groups. One of the most widely used methods for this purpose is Principal Component Analysis (PCA). PCA performs unsupervised dimensionality reduction by projecting data onto orthogonal components, thereby allowing visual discrimination of sample clusters based on spectral similarity. However, it does not possess direct predictive classification capability [12].

In this study, PCA was conducted using color parameters derived from the CIE Lab* color space. The resulting model exhibited a strong ability to distinguish samples based on color variation. The first principal component (PC1) accounted for 91% of the total variance, while the second component (PC2) explained 7%, yielding a cumulative variance of 98% (Figure 2). This high cumulative value indicates that the selected color parameters effectively represent the variability within the dataset. The PCA score plot revealed clear separation of the samples according to drying treatments. Fresh and hybrid-dried samples were positioned on the right side of the PC1 axis, while microwave-dried samples (MD 100 W) clustered on the left, indicating substantial differences in color attributes. Along the PC2 axis, fresh samples appeared in the lower region, whereas hybrid-dried samples were located in the upper region, suggesting distinct differences in specific color coordinates. These results highlight the significant role of L* (lightness) and a* (red-green) parameters in the discrimination of drying-induced color changes.

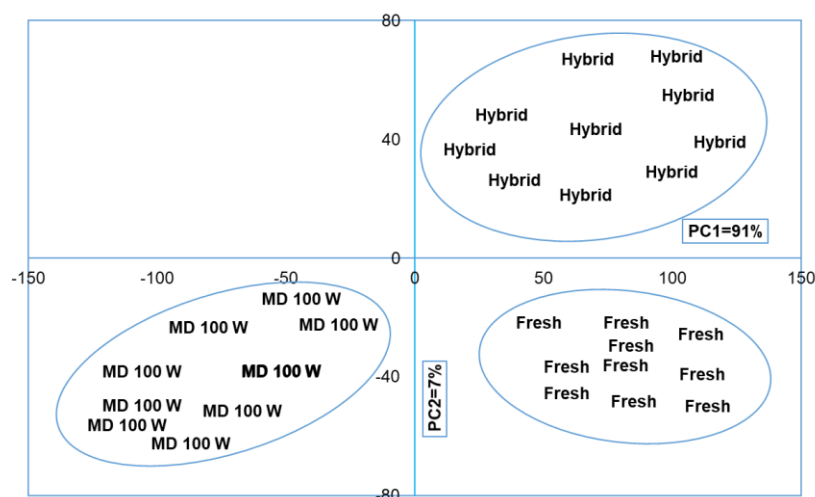


Figure 2. Score plot of Principal Component Analysis (PCA) based on color parameters of fresh, hybrid-dried (microwave at 100 W assisted by hot-air at 65 °C), and microwave-dried (100 W) celeriac slices.

IV. DISCUSSION

Literature studies reported that a considerable reduction in L^* values following thermal drying of celeriac and similar root vegetables. Rudy et al. [24] observed a marked decrease in lightness during hot-air drying, associated with increased surface darkening under elevated thermal exposure. Karabacak et al. [25] reported that similar reductions in celery, noting that prolonged drying under atmospheric conditions promoted pigment degradation. These findings indicated the predominance of non-enzymatic browning reactions, including Maillard-type mechanisms and oxidative changes in color compounds. Drying systems minimizing residence time and thermal gradients often preserve surface brightness. Na Nakornpanom et al. [26] demonstrated improved lightness retention in celery using hybrid and foam mat drying, primarily due to enhanced moisture transfer and reduced surface thermal stress. This condition limits exposure to oxidation-sensitive intermediates and supports chromatic stability. Compared to conventional methods, hybrid drying allows effective lightness preservation through simultaneous volumetric heating and convective flow. This integrated approach reduces pigment degradation and offers a technically viable solution for light-sensitive root vegetables.

Literature studies have highlighted significant changes in the a^* coordinate of plant tissues during drying, often reflecting shifts along the red-green axis due to thermal degradation or pigment oxidation. Rudy et al. [24] reported increasing a^* values in celery slices after hot-air drying, suggesting a loss of green chroma under elevated temperature and oxygen exposure. Similar findings were presented by Karabacak et al. [25], a^* values shifted toward the red axis as drying progressed. These color transitions were primarily linked to the degradation of chlorophyll derivatives and oxidative transformation of phenolic compounds. Although chlorophyll content is lower in celeriac compared to leafy vegetables, phenolic profiles and flavonoid composition also influence green intensity. Na Nakornpanom et al. [26] demonstrated greater a^* stability in celery subjected to hybrid drying, attributing this effect to reduced oxidative load and milder heat gradients. Preservation of negative a^* values in root vegetables has been associated with limited structural disruption and minimized browning reactions. Compared with single-mode drying, hybrid techniques provide a more thermally uniform environment. The decreased shift in a^* values under such conditions suggests better conservation of color directionality along the green axis, thereby enhancing visual quality in thermally processed root matrices.

Literature studies consistently report reductions in b^* values after thermal drying of vegetables, indicating loss of yellow pigments such as carotenoids and flavonoids. Rudy et al. [24] documented a significant

decrease in b^* values in dried celery roots subjected to convective drying. The authors linked this decline to the degradation of thermolabile pigments under sustained heat exposure. Similarly, Karabacak et al. [25] observed reduced b^* values in celery slices processed by vacuum and hot-air drying, emphasizing the role of prolonged thermal residence in pigment loss. Additional research by Islam et al. [27] on carrot slices confirmed that both drying temperature and time significantly affected b^* values, with higher temperatures accelerating the breakdown of yellow chromophores. Youssef and Mokhtar [28] also demonstrated marked b^* reductions in dried pumpkin and attributed the change to oxidation and structural collapse of pigment-holding cellular compartments. Studies focusing on celery and related Apiaceae species have emphasized that drying strategies minimizing oxidative stress can preserve b^* values more effectively. Na Nakornpanom et al. [26] found that hybrid drying improved pigment retention due to lower surface overheating and faster internal moisture diffusion.

Chroma, or color saturation, represents the vividness or purity of a hue and is directly influenced by the stability of color-contributing compounds during thermal processing. Literature studies demonstrated that thermal drying typically leads to a decline in chroma values due to pigment degradation and oxidative reactions. Rudy et al. [24] observed significant reductions in chroma values of celery roots after convective drying, linking the loss to the breakdown of flavonoid and carotenoid compounds. Karabacak et al. [25] also reported lower chroma levels in celery subjected to prolonged hot-air exposure. The decline in chroma has been associated with structural deformation in plant tissues and the oxidation of polyphenols. Islam et al. [27] confirmed that increasing temperature and drying time caused progressive fading of chroma in carrots, correlating with chloroplast disruption and loss of vacuolar pigments. Similarly, Youssef and Mokhtar [28] recorded chroma reductions in pumpkin due to thermal instability of pigment molecules. Hybrid drying approaches have demonstrated superior outcomes in preserving chroma compared to single-mode drying. Na Nakornpanom et al. [26] reported that combining microwave and convective systems improved chromatic integrity in celery, likely by reducing exposure to thermal peaks and oxygen penetration. The selection of a drying method that maintains thermal uniformity and minimizes pigment degradation plays a critical role in preserving chroma, especially in color-sensitive root vegetables.

The hue angle (h°) represents the dominant color orientation and depends on the ratio between a^* and b^* coordinates. In root vegetables, this parameter often indicates the chromatic balance between yellow and green hues. Thermal drying may influence h° values through pigment oxidation or thermal breakdown. Rudy et al. [24] recorded a slight decrease in hue angle during hot-air drying of celeriac, which pointed to a shift from the original yellow-green axis. Karabacak et al. [25] noted moderate changes in h° values in celery slices under extended thermal exposure. Islam et al. [27] reported temperature-dependent h° variation in carrot samples; however, mild processing conditions led to stable chromatic direction. Youssef and Mokhtar [28] showed that hue angle stability in dried pumpkin increased when drying occurred under optimized airflow and temperature control. Hybrid systems based on combined microwave and convective mechanisms reduced thermal stress and preserved hue characteristics more effectively. Na Nakornpanom et al. [26] demonstrated that hybrid techniques produced negligible h° shifts in celery by minimizing pigment destabilization. Maintaining a consistent hue angle remains essential for visual quality and consumer acceptability in dried plant materials. Limited deviation in hue values reflects reduced browning and pigment degradation. Drying methods that stabilize internal temperature gradients and prevent oxidative damage often support color direction integrity.

The total color difference (ΔE) quantifies the cumulative deviation of L^* , a^* , and b^* values from a reference sample and reflects the perceptibility of color changes after processing. In root vegetables, ΔE serves as a reliable indicator of visual quality degradation due to pigment loss, non-enzymatic browning,

or oxidative reactions. Literature studies have documented significant increases in ΔE values following thermal drying. Rudy et al. [24] reported elevated ΔE in hot-air dried celery roots, attributing the change to prolonged thermal exposure and oxidative pigment degradation. Karabacak et al. [25] observed similar outcomes and emphasized the role of convective air and exposure time in accelerating color drift. Islam et al. [27]) noted that ΔE increased with higher temperatures and extended drying times in carrots, resulting in visible chromatic shifts. Youssef and Mokhtar [28] found that drying conditions with uncontrolled thermal load led to ΔE values surpassing the perceptibility threshold, impacting consumer acceptance. Hybrid drying systems, which balance internal and surface heating dynamics, demonstrated improved control over ΔE values. Na Nakornpanom et al. [26] reported lower ΔE values in celery subjected to microwave-assisted drying, indicating minimized chromatic deterioration. Selecting drying methods that reduce thermal stress and pigment breakdown remains critical for chromatic acceptability in root vegetable matrices.

PCA results demonstrated that the visual clustering patterns support the role of L^* and a^* values as key variables influencing sample discrimination, as also reported in previous studies on microwave and hybrid drying of pigment-rich vegetables [29]. These findings confirm that multivariate color analysis not only enables rapid discrimination of drying methods but also reflects the underlying chemical and structural changes in the product matrix. The clear separation of groups underlines the potential of PCA as a supportive analytical tool for visual quality assessment in thermal processing studies. Similarly, Aygun et al. [7] indicated that the oil content in basil leaves could be distinguished in the PCA score plot based on its variation. Arslan et al. [21] reported that different linseed varieties exhibited distinct patterns in the PCA score plot due to their fatty acid, protein, and fiber compositions, enabling varietal differentiation. In dried food products, color parameters have been shown to provide insights into final product quality. Arslan et al. [22] stated that black carrot samples dried using different methods displayed varying arrangements in the PCA score plot, which could be attributed to differences in their nutritional content. Keskin et al. [30] demonstrated that the color values of organic Capia peppers dried under varying intermittent microwave power levels could be successfully separated from those of conventional counterparts using PCA. Guilherme et al. [31] used Principal Component Analysis (PCA) to distinguish between organic and conventional sweet peppers and emphasized that compositional variables such as phenolic compounds and antioxidant activity could be effectively separated through multivariate clustering analysis. Turkmen et al. [32] investigated the fixed oil composition, seed yield, and quality of eight basil genotypes with different leaf colors (purple and green). According to the results of Principal Component Analysis (PCA), purple- and green-leafed basil genotypes exhibited distinct chemical profiles in terms of fixed oil composition. This divergence suggests that leaf color may have a determining influence on fixed oil profiles and potential functional properties. Notably, green-leafed genotypes were found to be superior in terms of fixed oil constituents. In the study conducted by Arslan & Alibaş [23], PCA was applied to L^* , a^* , and b^* color data obtained from fresh and dried chili pepper samples to analyze the differences caused by drying. The first principal component (PC1) accounted for 91% of the total variance, while the second component (PC2) explained 7%, resulting in a cumulative variance explanation of 98%.

V. CONCLUSION

In this study, the effects of microwave drying and microwave-assisted hot air (hybrid: 100 W +65°C) drying on the color characteristics of celeriac (*Apium graveolens* L.) were comparatively evaluated. The outcomes demonstrated that drying method significantly influenced all colorimetric parameters (L^* , a^* , b^* , C , h° , ΔE). While both techniques reduced overall color intensity compared to fresh samples, the hybrid method provided superior retention of original color attributes. The L^* values remained above 95 across all treatments, indicating limited darkening and minimal non-enzymatic browning. The most negative a^* value was preserved in hybrid drying, suggesting enhanced retention of green tonal characteristics. In addition, b^* values declined less in the hybrid group, supporting better preservation of yellow chromophores such as carotenoids and flavonoids. A more favorable C value was obtained in hybrid-dried slices, indicating

improved retention of color vividness. Likewise, ΔE variations were minimal, particularly under hybrid conditions, which indicated reduced pigment destabilization. The ΔE value in hybrid drying remained below the commonly accepted perceptibility threshold ($\Delta E = 1.50$), while microwave drying produced more distinguishable color changes ($\Delta E = 3.02$). These findings support the conclusion that hybrid drying, by integrating volumetric microwave energy with convective airflow, provides a more thermally balanced environment. This combination minimizes pigment degradation and enhances chromatic stability, offering a technically and visually superior alternative for the dehydration of color-sensitive root vegetable matrices such as celeriac. Principal Component Analysis (PCA) applied to color parameters effectively distinguished the celeriac samples based on drying methods. The first two components explained 98% of the total variance, confirming that colorimetric data captured the drying-induced variability and allowed for clear separation of sample groups. The results of this study demonstrate that hybrid drying was more effective than microwave drying in preserving the natural color characteristics of celeriac slices. Higher L^* values and clearer groupings in the PCA score plot indicated that hybrid drying reduced discoloration and pigment loss. Given the significance of visual quality in consumer preferences, maintaining the lightness and chromatic stability of dried celeriac is essential for marketability. Therefore, hybrid-dried celeriac chips can be considered a visually appealing and nutritionally promising alternative for the development of healthy vegetable-based snacks.

ACKNOWLEDGMENT

The author gratefully acknowledges Associate Professor Necati CETIN for providing the experimental equipment and laboratory facilities necessary for conducting this study.

REFERENCES

- [1] Khalil, A., Nawaz, H., Ghania, J. B., Rehman, R., & Nadeem, F. (2015). Value added products, chemical constituents and medicinal uses of celery (*Apium graveolens* L.)—A review. *International Journal of Chemical and Biochemical Sciences*, 8(2015), 40-48. <https://doi.org/10.1590/fst.34417>
- [2] Tan, T. Y. C., Lim, X. Y., Norahmad, N. A., Chanthira Kumar, H., Teh, B. P., Lai, N. M., & Syed Mohamed, A. F. (2023). Neurological applications of celery (*Apium graveolens*): a scoping review. *Molecules*, 28(15), 5824. <https://doi.org/10.3390/molecules28155824>
- [3] Arslan, A., (2025). Evaluation of color degradations in celeriac slices under hot-air and hybrid drying conditions: dried-celery as a healthy snack. *Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpaşa University*. Under publication
- [4] Majumder, P., Sinha, A., Gupta, R., & Sablani, S. S. (2021). Drying of selected major spices: Characteristics and influencing parameters, drying technologies, quality retention and energy saving, and mathematical models. *Food and Bioprocess Technology*, 14(6), 1028-1054. <https://doi.org/10.1007/s11947-021-02646-7>
- [5] Soysal, Y., (2004). Microwave drying characteristics of parsley. *Biosystems engineering*, 89(2), 167-173. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2004.07.008>
- [6] Soysal, Y., Ayhan, Z., Esturk, O., & Arikan, M. F. (2009). Intermittent microwave–convective drying of red pepper: Drying kinetics, physical (colour and texture) and sensory quality. *Biosystems engineering*, 103(4), 455-463. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2009.05.010>
- [7] Aygun, Y. Z., Arslan, A., & Mert, M. (2024). Is dual-purpose flax production feasible in the Amik Plain? A preliminary study on cultivar performance and harvesting stage. *Mustafa Kemal University Journal of Agricultural Sciences*, 29(1), 281-289. <https://doi.org/10.37908/mkutbd.1394730>
- [8] Aygun, Y. Z., Eren, Y., & Ertekin, E. N. (2022). Diurnal variation of essential oil ratio and composition of some basil genotypes. *Bangladesh Journal of Botany*, 51(4), 787-795. <https://doi.org/10.3329/bjb.v51i4.63498>
- [9] Aygun, Y. Z., & Mert, M. (2022). Determination of yield characters of some linseed (*Linum usitatissimum*) cultivars under rainfed condition in Eastern Mediterranean. *Journal of Applied Biological Sciences*, 16(3), 527-536. <https://doi.org/10.71336/jabs.1046>
- [10] Arslan, A., Soysal, Y., & Keskin, M. (2020a). Mathematical modeling, moisture diffusion and color quality in intermittent microwave drying of organic and conventional sweet red peppers. *AgriEngineering*, 2(3), 393-407. <https://doi.org/10.3390/agriengineering203002>
- [11] Arslan, A., Soysal, Y., & Keskin, M. (2020b). Comparing hot air drying kinetics and color quality of organic and conventional sweet red peppers. *Mustafa Kemal University Journal of Agricultural Sciences*, 25(2), 271-283. <https://doi.org/10.37908/mkutbd.747675>
- [12] Arslan, A. (2021). The usability of color and near infrared reflection data in determination of adulteration in dried and powdered organic black carrot (Doctoral dissertation, PhD Thesis) Hatay Mustafa Kemal University, Department of Biosystem Engineering, Hatay).

- [13] Arslan, A., Soysal, Y., & Keskin, M. (2023a). Comparative investigation of drying and quality characteristics of organic and conventional black carrots dried by intermittent microwave and hot air. *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*, 20(3), 591-604. <https://doi.org/10.33462/jotaf.1169657>
- [14] Soysal, Y., Keskin, M., Arslan, A., & Sekerli, Y. E. (2018, November). Infrared drying characteristics of pepper at different maturity stages. In *International Conference on Energy Research* (pp. 1-2).
- [15] Arslan, A., & Alibaş, İ. (2024). Assessing the effects of different drying methods and minimal processing on the sustainability of the organic food quality. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 103681. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2024.103681>
- [16] Pathare, P. B., Opara, U. L., & Al-Said, F. A. J. (2013). Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: A review. *Food and bioprocess technology*, 6, 36-60. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0867-9>
- [17] Godlewska, K., Pacyga, P., Michalak, I., Biesiada, A., Szumny, A., Pachura, N., & Piszcz, U. (2020). Field-scale evaluation of botanical extracts effect on the yield, chemical composition and antioxidant activity of celeriac (*Apium graveolens* L. var. *rapaceum*). *Molecules*, 25(18), 4212. <https://doi.org/10.3390/molecules25184212>
- [18] Kooti, W., & Daraei, N. (2017). A review of the antioxidant activity of celery (*Apium graveolens* L.). *Journal of evidence-based complementary & alternative medicine*, 22(4), 1029-1034. <https://doi.org/10.1177/2156587217717>
- [19] Milić, A., Adamović, B., Nastić, N., Tepić Horecki, A., Pezo, L., Šumić, Z., & Vojnović, Đ. (2024). Cluster and Principal Component Analyses of the Bioactive Compounds and Antioxidant Activity of Celery (*Apium graveolens* L.) Under Different Fertilization Schemes. *Foods*, 13(22), 3652. <https://doi.org/10.3390/foods13223652>
- [20] Arslan, A., Keskin, M., & Soysal, Y. (2023b). Rapid and non-destructive detection of organic carrot powder adulteration using spectroscopic techniques. *Journal of Food Composition and Analysis*, 123, 105572. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2023.105572>
- [21] Arslan, A., Aygun, Y. Z., Turkmen, M., Celiktaş, N., & Mert, M. (2025a). Combining non-destructive devices and multivariate analysis as a tool to quantify the fatty acid profiles of linseed genotypes. *Talanta*, 281, 126798. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2024.126798>
- [22] Arslan, A., Celiktaş, N., Soysal, & Keskin, M. (2025b). Comparison of total phenolic content in organic and conventional carrot under different drying conditions using non-destructive analysis techniques. *Microchemical Journal*, 208, 112279. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2024.112279>
- [23] Arslan, A., & Alibas, I. (2025). Non-destructive quality assessment of fresh and dried-chili peppers: prediction of vitamin, protein, macro and micro-nutrient content via color models and multivariate analysis. *Microchemical Journal*, 114477. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2025.114477>
- [24] Rudy, S., Dziki, D., Biernacka, B., Polak, R., Krzykowski, A., Krajewska, A., Stanisławczyk, R., & Rudzki, G. (2024). Impact of Drying Process on Grindability and Physicochemical Properties of Celery. *Foods*, 13(16), 2585. <https://doi.org/10.3390/foods13162585>
- [25] Karabacak, A. Ö., Suna, S., Tamer, C. E., & Çopur, Ö. U. (2018). Effects of oven, microwave and vacuum drying on drying characteristics, colour, total phenolic content and antioxidant capacity of celery slices. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 10(2), 193-205. <https://doi.org/10.3920/QAS2017.1197>
- [26] Na Nakornpanom, N., Chaovanalikit, A., Ahmad, I., Songpra, P., Thathong, P., & Sirisoontarak, P. (2024). Effects of Drying Temperatures and Drying Methods on Physicochemical and Antioxidant Properties of Celery Powder. *Journal of Culinary Science & Technology*, 1-16. <https://doi.org/10.1080/15428052.2024.2369808>
- [27] Islam, M. Z., Ayami, O., Kitamura, Y., Kokawa, M., Takeshi, K., Masayuki, K., & Norihiro, H. (2021). Micro wet milling and spray drying of whole mandarin powder and its characterization. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15(1), 851-861. <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00679-8>
- [28] Youssef, K. M., & Mokhtar, S. M. (2014). Effect of drying methods on the antioxidant capacity, color and phytochemicals of *Portulaca oleracea* L. leaves. *Journal of Nutrition & Food Sciences*, 4(6), 1. <http://dx.doi.org/10.4172/2155-9600.1000322>
- [29] Korkmaz, A., Atasoy, A. F., & Hayaloglu, A. A. (2021). The effects of production methods on the color characteristics, capsaicinoid content and antioxidant capacity of pepper spices (*C. annuum* L.). *Food Chemistry*, 341, 128184. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128184>
- [30] Keskin, M., Arslan, A., Soysal, Y., Sekerli, Y. E., & Celiktaş, N. (2022). Feasibility of a chromameter and chemometric techniques to discriminate pure and mixed organic and conventional red pepper powders: A pilot study. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(6), e15846. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15846>
- [31] Guilherme, R., Aires, A., Rodrigues, N., Peres, A. M., & Pereira, J. A. (2020). Phenolics and antioxidant activity of green and red sweet peppers from organic and conventional agriculture: A comparative study. *Agriculture*, 10(12), 652. <https://doi.org/10.3390/agriculture10120652>
- [32] Turkmen, M., Eren, Y., Aygun, Y. Z., & Ertekin, E. N. (2022). Determination of seed yield, quality and fixed oil components of different basil (*Ocimum basilicum* L.) genotypes: Evaluation of fatty acid profile by PCA biplot analysis. *Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences*, 8(3), 453-462. <https://doi.org/10.28979/jarnas.1052498>

Next-Generation Logistics Service Quality: A Conceptual Reframing Along the Axes of Digitalization, Sustainability, and Crisis Resilience

Lect. Emine Öztürk Koçali ^{*1}

¹ Istanbul Gelisim University, Istanbul Gelisim Vocational School, Logistics Program, Türkiye

(ORCID:<https://orcid.org/0000-0001-8975-9459>)

*emozturk@gelisim.edu.tr

Abstract – Logistics Service Quality (LSQ) has long been recognized in the literature as a key indicator of both operational performance and customer satisfaction within the logistics sector. Traditionally defined through dimensions such as on-time delivery, information quality, empathy, and service reliability, LSQ has undergone a significant conceptual transformation in recent years due to disruptions in global dynamics. In particular, the post-COVID-19 era has brought forth new focal points such as digitalization, sustainability, and crisis resilience, highlighting the need for a multidimensional and context-sensitive approach in the evaluation of LSQ. This study aims to map the conceptual evolution of LSQ through a systematic literature review and thematic content analysis of 112 articles published between 2015 and 2025. A total of 47 peer-reviewed studies retrieved from databases including Scopus, Web of Science, ScienceDirect, and Google Scholar were analyzed. The coding process revealed four dominant thematic categories in the LSQ literature: (1) Traditional LSQ Dimensions, (2) Digitally-Oriented LSQ (e-LSQ), (3) Sustainability-Focused LSQ, and (4) Crisis-Resilient LSQ Approaches. Findings indicate that traditional LSQ dimensions remain prevalent in 76% of the studies, while digital technologies are emphasized in 58%, sustainability practices in 42%, and crisis management elements in 35% of the publications. Furthermore, 62% of the studies incorporate multiple themes, suggesting that the conceptualization of LSQ has evolved into a multidimensional, interdisciplinary, and contextually adaptive construct. Theoretically, this research contributes by systematically illustrating the structural expansion of LSQ, addressing conceptual ambiguities in the literature, and laying the groundwork for the development of next-generation LSQ models. On a practical level, it emphasizes the strategic need for logistics service providers to realign their quality strategies through digital transformation, environmental sustainability, and operational flexibility, all of which are critical to enhancing service quality. Future research directions include conducting sector-specific comparative studies, empirically testing customer-based perceptions of LSQ, and developing AI-supported dynamic measurement models. Ultimately, the study concludes that LSQ should no longer be viewed merely as an operational outcome, but rather as a strategic, digital, and ethical performance indicator in contemporary logistics management.

Keywords – Logistics Service Quality, LSQ; Digitalization, Sustainability, Crisis Resilience, Conceptual Framework.

I. INTRODUCTION

In today's logistics sector, where global competition is increasingly intense and customer expectations are becoming more dynamic, the concept of service quality (LSQ) stands out as a critical success factor at both strategic and operational levels. The fact that logistics services are not limited to physical product movement alone; they also create added value in areas such as information technologies, process integration, and customer relations necessitates a multidimensional approach to LSQ. In this context, LSQ

is not limited to metrics such as delivery speed or service accuracy; it also encompasses new criteria such as the service provider's digital competence, environmental responsibility, and operational resilience in the face of crises [1,2].

For many years, LSQ studies in the literature have been shaped around traditional dimensions such as on-time delivery, service reliability, information quality, empathy, and physical delivery processes. These dimensions are structured based on the SERVQUAL model and used to understand the relationship between service provider performance and customer satisfaction. However, the pandemic, global supply chain crises, climate-related disasters, and technological transformations that occurred in the post-2020 period have led to significant shifts in the definition and measurement paradigm of LSQ. Particularly with the emergence of concepts such as digitalization, sustainability, and system resilience, service quality has become evaluated not only in terms of "how" it is delivered but also "under what conditions, with what tools, and with what value propositions" [3,4].

This study reassesses classical approaches to LSQ and systematically analyzes conceptual expansions, proposed new dimensions, and methodological approaches that have emerged in the literature over the last five years. The aim is to shed light on the evolving nature of LSQ and provide a theoretical basis for digital, sustainable, and resilient logistics service models.

II. THEORETICAL FRAMEWORK

Logistics service quality is a multidimensional concept based on customer perceptions of a service provider's performance. In the literature, LSQ is largely derived from the SERVQUAL model and defined by the following core dimensions: on-time delivery, order accuracy, information quality, customer relations, and physical service elements. These dimensions are considered core elements in understanding the performance of logistics systems.

Logistics service quality (LSQ) is a multidimensional concept that describes the perceived performance level of logistics activities offered to customers. Derived from traditional service quality literature, LSQ was developed largely based on the SERVQUAL model by Parasuraman, Zeithaml, and Berry (1988) [5]. Based on this model, LSQ was shaped by reinterpreting service elements such as reliability, responsiveness, assurance, empathy, and tangibles in a logistics context. Scales developed in the early stages of LSQ research were structured specifically around the following core dimensions [6-8].

- On-Time Delivery: The timely delivery of complete and intact orders to customers has been considered a key indicator of logistics performance.
- Order Accuracy and Completeness: Delivering complete, undamaged, and correct products is a key factor influencing customer satisfaction.
- Information Quality and Communication: The service provider's ability to provide accurate, up-to-date, and accessible information to the customer defines the information flow dimension of LSQ.
- Customer Relations: Problem-solving skills, ease of access, employee competence, and communication language are prominent elements in LSQ's customer-based evaluations.

This classic framework has guided service quality research for many years, adapting and using it across different geographies, sectors, and customer segments. However, the transformations experienced after 2020 have necessitated a theoretical and practical reevaluation of this framework.

A. Digitalization and the e-LSQ Approach

In recent years, the integration of digital technologies into logistics systems has led to the emergence of new dimensions in LSQ assessments. Conceptualized as e-LSQ (electronic logistics service quality), this new approach encompasses elements such as online order tracking, mobile application interaction, automated notification systems, and AI-enabled customer service [9]. In this context, the quality of digital interaction has become a critical element in measuring LSQ.

B. Sustainability-Focused LSQ Dimensions

Environmental parameters such as environmental responsibility, sustainable supply chain practices, and carbon emission reduction are now being integrated with the social dimensions of service quality. Studies

examining the contribution of green logistics activities to service quality have revealed that environmental performance impacts both corporate image and customer satisfaction [10].

C. Crisis Management and Operational Resilience

The COVID-19 pandemic and subsequent geopolitical crises have necessitated another conceptual expansion of LSQ. Resilience refers to system flexibility and adaptability that ensures service continuity not only during disruptions but also under conditions of uncertainty. Logistics service providers' ability to make rapid decisions, implement alternative supply routes, and respond flexibly to customer demands are now considered critical indicators of LSQ [11].

D. Multidimensional and Dynamic LSQ Scales

This evolutionary shift in the literature demonstrates the inadequacy of uniform and static models for measuring LSQ. Therefore, contemporary LSQ research tends to develop dynamic LSQ scales tailored to variables such as industry, region, customer segment, and distribution channel. The proliferation of technological infrastructures, particularly artificial intelligence, the Internet of Things (IoT), and big data, enables this customization to be data-driven [12].

III. MATERIALS AND METHOD

This study utilizes a combination of qualitative content analysis and systematic literature review methods to provide a holistic analysis of the Logistics Service Quality (LSQ) literature, encompassing both its historical development and current trends. The research design aims to reveal the transition between the traditional dimensions of the LSQ concept and the post-2020 approaches focused on digitalization, sustainability, and resilience.

E. Research Method

The study adopted a qualitative approach, specifically using thematic content analysis to classify recurring conceptual constructs, measurement dimensions, and theoretical approaches in the literature. The methodological process employed was conducted in accordance with current systematic review protocols.

- The dataset was created by searching the following academic databases: Scopus, Web of Science, ScienceDirect, Emerald Insight, and Google Scholar.
- The keywords used in the search were: "logistics service quality", "LSQ measurement", "digital logistics", "resilient supply chains", "green logistics", "e-LSQ".
- Publications between 2015 and 2025 were included in the search. Priority was given to English-language articles published in peer-reviewed journals. A total of 112 original publications were reviewed; 47 studies were included in the systematic analysis following content analysis.
- Relevant literature was analyzed. The coding process categorized both pre-defined themes (e.g., on-time delivery, information quality, customer relations) and data-derived themes (e.g., digital interaction quality, carbon footprint management, crisis response capacity). The codes were grouped into four main categories:
 1. Classic LSQ Dimensions
 2. Digitization-Based Dimensions (e-LSQ)
 3. Sustainability-Focused LSQ Indicators
 4. Crisis and Resilience-Focused LSQ Applications
- Validity and Reliability: A double-coding process was used to ensure the reliability of the findings, and 91% coding agreement was achieved. To increase the study's internal validity, thematic integrity of articles obtained from different databases was cross-checked.

IV. RESULTS

This study, conducted through a systematic literature review and thematic content analysis, presents a holistic framework that outlines the fundamental themes and new dimensions from which the concept of Logistics Service Quality (LSQ) has evolved. The findings demonstrate that traditional LSQ dimensions remain relevant, but new sub-dimensions are rapidly emerging in the context of digitalization, sustainability, and operational resilience.

A. *The Continuity of Classic LSQ Dimensions*

In 76% of the studies reviewed, the classic service quality dimensions still form the basis of LSQ measurement. The following elements were particularly frequently observed:

- On-time delivery
- Order accuracy and completeness
- Information quality and customer information
- Problem-solving speed and employee communication

These findings confirm that classic SERVQUAL-based constructs remain a fundamental reference in logistics performance evaluations.

B. *New LSQ Dimensions Based on Digitalization (eLSQ)*

In 58% of publications published after 2020, new themes related to the digital components of LSQ emerged. The most frequently recurring elements are:

- Quality of real-time tracking systems
- AI-enabled customer support processes
- Mobile app accessibility and user experience
- Data security and digital transparency

These themes demonstrate the development of new-generation scales integrating electronic service quality (e-service quality) measures in addition to the classic LSQ scales.

C. *Sustainability-Based LSQ Approaches*

Sustainability and environmental awareness are integrated into the LSQ assessment in 42% of the literature. Prominent sub-dimensions:

- Measuring and reporting carbon emissions
- Environmentally friendly transportation methods (e.g., electric fleet, intermodal transport)
- Transparency of reverse logistics and waste management processes

These findings reveal that environmental performance is evaluated not only within the context of corporate social responsibility but also directly integrated into service quality.

D. *LSQ in Times of Crisis: Resilience and Adaptability*

Especially in post-pandemic publications (35%), LSQ was discussed from a crisis management and operational resilience perspective. In this context, the following themes were identified as prominent:

- Capacity to ensure service continuity during times of crisis
- Ability to respond quickly to supply disruptions
- Management of alternative transportation and distribution channels
- Transparency of customer information processes under uncertainty

These themes indicate that LSQ is evaluated not only on its service performance under normal conditions but also on its adaptability in an environment of uncertainty.

E. *Thematic Transition and Integrated LSQ Approach*

According to the coding results, 62% of the publications contained elements from more than one theme cluster, indicating that the LSQ concept is no longer a single-dimensional construct but rather a multi-layered system. The distribution of themes by publication is summarized below:

<u>Theme Cluster</u>	<u>Occurrence in Publications</u>
Classic LSQ Dimensions	76%
Digitalization (e-LSQ)	58%
Sustainability	42%
Resilience and Crisis Management	35%
Multi-Layered LSQ Approaches	62%

The findings indicate that LSQ is undergoing an evolutionary transformation, with themes such as digitalization, sustainability, and resilience gaining central importance alongside traditional structures. New models developed within this framework should consider not only performance but also social responsibility and strategic adaptation.

V. DISCUSSION

This study systematically analyzes the literature on logistics service quality (LSQ) from classical approaches to today's digital and sustainability paradigm, revealing the structural transformation of the concept. The findings demonstrate that LSQ continues to be shaped around traditional dimensions such as operational reliability, on-time delivery, and information quality, but these fundamental constructs are now being reinterpreted in conjunction with contemporary elements such as digitalization, environmental responsibility, and system flexibility.

In particular, digital components—such as real-time tracking, AI-enhanced customer service, and mobile interaction design—are becoming a new standard in LSQ assessments. This necessitates the updating of classical measurement tools and the integration of the e-LSQ concept into the theoretical framework. Similarly, it has been demonstrated that sustainability and environmental impact management should be considered not only within the context of corporate social responsibility but also as service quality indicators that directly impact customer perception. Another striking finding is the inclusion of crisis management and operational resilience within the LSQ's measurement framework. The supply chain disruptions experienced with the COVID-19 pandemic have made service quality a part of customer perceptions not only of product delivery but also of a company's communication transparency, ability to generate alternative solutions, and process management style. This finding demonstrates that LSQ should no longer be static but rather situationally and contextually responsive [13,14].

This study demonstrates that the LSQ concept has undergone a multidimensional evolution and bridges the gap between classical literature and contemporary approaches. By systematically mapping this thematic expansion in the literature, it provides a reference framework that will guide future theoretical modeling studies.

For logistics service providers, these findings provide important clues for restructuring service quality strategies, investing in digital infrastructure, integrating sustainability practices into the operational level, and developing flexible service designs to prepare for crisis situations.

The primary limitation of this study is that it is solely literature-based. Because the findings are not supported by industry-specific practices or customer-based empirical data, field-based equivalents of the proposed dimensions should be tested in separate studies. Future research could include:

- Industry-based comparative LSQ models,
- e-LSQ scales differentiated by customer segments,
- Service quality matrices based on crisis resilience. Furthermore, structural equation modeling is recommended to examine how digitalization and sustainability dimensions complement each other.

REFERENCES

- [1] Mentzer, J. T., Flint, D. J., & Kent, J. L. (1999). Developing a logistics service quality scale. *Journal of Business logistics*, 20(1).
- [2] Thai, V. V. (2013). Logistics service quality: conceptual model and empirical evidence. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 16(2), 114-131.
- [3] Buttle, F. (1996). SERVQUAL: review, critique, research agenda. *European Journal of marketing*, 30(1), 8-32.
- [4] Alkraihi, A., & Ameen, N. (2022). The impact of service quality, trust and satisfaction on young citizen loyalty towards government e-services. *Information Technology & People*, 35(4), 1239-1270.
- [5] Parasuraman, A. B. L. L., Zeithaml, V. A., & Berry, L. (1988). SERVQUAL: A multiple-item scale for measuring consumer perceptions of service quality. 1988, 64(1), 12-40.
- [6] Ayyıldız, E. (2022). Lojistik Servis Sağlayıcılarının Hizmet Kalitesi Boyutlarının Servqual Temelli Best-Worst Yöntemi Kullanılarak Önceliklendirilmesi. *Journal of Transportation and Logistics*, 7(1), 117-135.
- [7] Hoque, U. S., Akhter, N., Absar, N., Khandaker, M. U., & Al-Mamun, A. (2023). Assessing service quality using SERVQUAL model: An empirical study on some private universities in Bangladesh. *Trends in Higher Education*, 2(1), 255-269.
- [8] Restuputri, D. P., Indriani, T. R., & Masudin, I. (2021). The effect of logistic service quality on customer satisfaction and loyalty using kansei engineering during the COVID-19 pandemic. *Cogent Business & Management*, 8(1), 1906492.
- [9] Dhaigude, S. A., & Mohan, B. C. (2023). Logistics service quality in online shopping: A bibliometric analysis. *Journal of Internet Commerce*, 22(1), 157-188.
- [10] Warner-Söderholm, G., Čepėnas, S., Minelgaite, I., & Akstinaitė, V. (2024). Sustainability-Oriented Leader, Please! Effects of Industry on Followers' Preferences. *Administrative Sciences*, 14(3), 46.
- [11] Ghazi, K. M., Salem, I. E., Dar, H., & Elbaz, A. M. (2024). Leveraging strategic leadership for boosting operational resilience in hotels: the role of crisis response strategies and e-readiness. *International Journal of Contemporary Hospitality Management*, 36(10), 3300-3323.
- [12] Dovbischuk, I. (2022). Innovation-oriented dynamic capabilities of logistics service providers, dynamic resilience and firm performance during the COVID-19 pandemic. *The International Journal of Logistics Management*, 33(2), 499-519.
- [13] Ighomereho, S. O., Ojo, A. A., Omoyele, S. O., & Olabode, S. O. (2022). From service quality to e-service quality: measurement, dimensions and model. *arXiv preprint arXiv:2205.00055*.
- [14] Jain, N. K., Gajjar, H., & Shah, B. J. (2021). Electronic logistics service quality and repurchase intention in e-tailing: Catalytic role of shopping satisfaction, payment options, gender and returning experience. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 59, 102360.

Mask R-CNN Application for Deep Learning Based Bone Fracture Detection

Zeki KÜÇÜKKARA^{1*}, Şakir TAŞDEMİR²

¹Selcuk University, Faculty of Technology, Department of Computer Engineering, Konya, Türkiye

²Selcuk University, Faculty of Technology, Department of Computer Engineering, Konya, Türkiye

*(zekikucukkara@gmail.com)

Abstract – Bones provide structural support and enable movement in the human body. Yet fractures are frequent injuries arising from high energy trauma or age-related fragility conditions such as osteoporosis. When left untreated, they may trigger chronic sequelae, including bone degeneration, residual deformities, restricted mobility, and loss of strength. Conventional radiography remains the first line diagnostic tool; however, in fast paced emergency departments these images are often interpreted by non-orthopedic physicians or junior radiologists, heightening the risk of misdiagnosis. To address these time and accuracy constraints, we present an automated fracture segmentation system built on the Mask R-CNN deep learning architecture. Extensive data augmentation techniques were applied during training to bolster robustness and curb overfitting on a modest dataset. Performance, evaluated via 7-fold cross-validation across varied data splits, yielded an Intersection over Union (IoU) of 0.887 and a mean accuracy of 0.911. Cross-validation boosted generalisation by more than by about 58 percentage points, underscoring its value in medical AI pipelines. The results demonstrate that the proposed approach offers a practical, scalable, and accurate solution suitable for deployment wherever rapid, dependable diagnosis is essential. With additional external validation on heterogeneous, multi centre datasets, the model could evolve into a powerful decision support tool that streamlines radiology workflows and reduces diagnostic errors. Ultimately, it may enhance patient outcomes by facilitating faster triage and targeted treatment.

Keywords – Mask R-CNN, Bone Fracture, Deep Learning, Fracture Detection, Fracture Segmentation.

I. INTRODUCTION

Bones provide essential structural support and enable movement. The human skeleton comprises many bones with distinct morphologies and functions, which makes fractures among the most common traumatic injuries. They usually result from high energy events—such as traffic accidents or falls—but age-related loss of bone mineral density also predisposes older adults to fragility fractures [1],[2]. Untreated fractures can progress to chronic complications, including joint degeneration [3],[4],[5]. Since residual deformities can lead to functional losses such as limited range of motion and decreased strength, the early and accurate diagnosis of fractures is of great clinical importance. In this regard, the development of highly reliable automatic fracture diagnosis algorithms can accelerate the diagnosis-treatment process and increase the efficiency of clinical workflows. The clinical process requires the detection of the fracture and the radiographic assessment of fracture displacement. Conventional radiography remains the primary imaging method for fracture detection. However, due to the need for rapid clinical decision making in emergency department settings, the initial interpretation of radiographs is often performed by non-orthopedic physicians or less experienced radiologists [6],[7],[8],[9],[10],[11]. Automated decision support tools could accelerate the diagnostic workflow and improve consistency.

Advances in information technology have markedly improved diagnostic accuracy in medicine. In particular, deep learning approaches based on convolutional neural networks (CNN) have shown

remarkable performance improvements in medical image analysis applications [11],[12],[13]. These methods have demonstrated diagnostic success rates close to that of human experts in disciplines such as dermatology, radiology, and pathology, and in some cases even surpassing them [14]. Orthopedic literature has also demonstrated the effectiveness of AI supported systems in detecting bone fractures radiographically, showing that models developed for fracture diagnosis achieve accuracy rates comparable to those of expert clinicians [7], [15],[16],[17]. In general, it is observed that deep learning algorithms create a paradigm shift in medical image analysis by offering integrated, reliable, and explainable solutions with clinical decision support systems.

It is observed that the majority of studies in the literature focus solely on classifying the presence of fractures and mostly use closed source methods. This approach significantly limits the integration of the developed models into large-scale clinical systems and inter-institutional external validation processes [18]. However, the fundamental requirement in clinical practice goes beyond merely detecting the presence of a fracture; it involves localizing the fracture region with high precision to guide treatment planning. Segmentation-based methods that provide location information have the potential to address this critical need by providing clinicians with more interpretable and clinically actionable data [3].

We propose an open-source, Mask R-CNN-based pipeline for simultaneous detection and segmentation of fracture regions on radiographs, and we benchmark its performance under three experimental settings (baseline, cross-validation, and data augmented training). Our goal is to demonstrate a clinically viable segmentation accuracy while highlighting the impact of cross-validation and augmentation on generalisation.

II. MATERIALS AND METHOD

Mask R-CNN architecture was used for fracture detection and segmentation; the performance of the model was comparatively analysed under three experimental settings with varying k-fold and epoch values.

A. Dataset

FracAtlas [19] dataset was used in our study. FracAtlas is a new, fully labelled X-ray dataset that supports classification, localisation and segmentation tasks simultaneously for computer-aided fracture diagnosis research. It contains 4083 X-ray images of the hand, leg, hip and shoulder collected from three hospitals in Bangladesh between 2021 and 2022. A total of 717 images contain 922 fracture samples and each fracture has a COCO-shaped polygonal mask and box annotation.

B. Data Augmentation and Pre-processing

Contrast Limited Adaptive Histogram Equalisation (CLAHE) method was used in the preprocessing stage to reduce the low contrast problem in radiographic images and to make the fracture lines more prominent [20], [21]. The limited number of samples in deep learning models increases the risk of overfitting by reducing the generalisation ability of the model. For this reason, data augmentation techniques were applied in our study to increase the diversity of training samples. In the data augmentation process, Random Horizontal Flip (probability = 0.5) was applied to each radiograph to generate symmetric variations of the image set. Thus, the model was trained with both original and augmented and contrast-enhanced images to achieve a higher generalisability capacity.

C. Mask R-CNN - Mask Region-Based Convolutional Neural Network

Mask R-CNN is a powerful instance segmentation model that combines object detection with pixel-level segmentation. Built on the Faster R-CNN architecture, this model performs a binary mask estimation for each detected object through classification and location information as well as an additional segmentation branch [22],[23],[24]. The feature extractor module ResNeXt-101 32x8d architecture is used for the mask R-CNN backbone [25]. Figure 1 shows the adapted Mask R-CNN architecture [26].

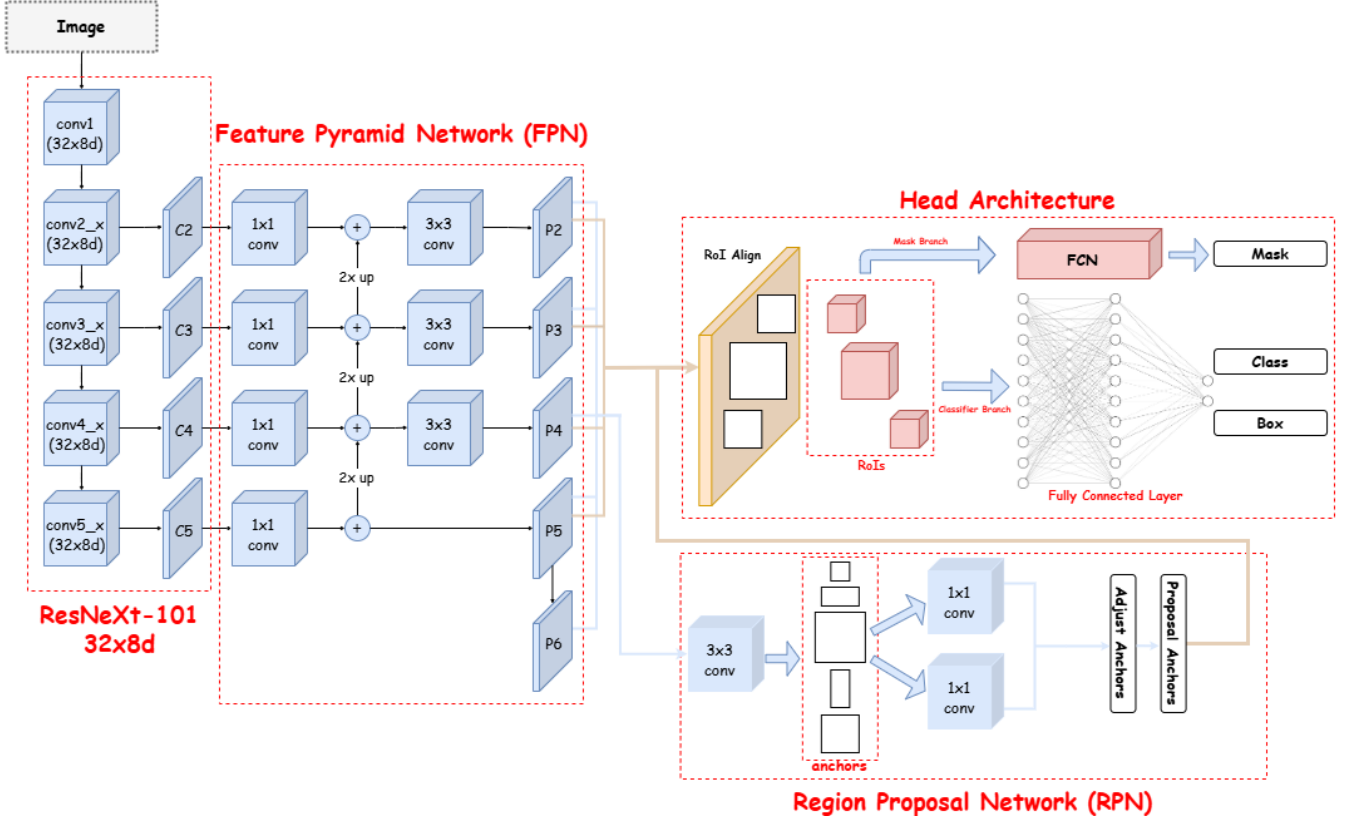


Figure 1. Mask R-CNN

D. Training Configuration

In this study, the Mask R-CNN architecture was trained with a consistent set of hyperparameters in all experiments. Only the k-fold and number of epochs were varied according to the scenarios. Table 1 shows the hyperparameters and Table 2 shows the scenarios.

Table 1. Hyperparameters

Hyperparameter	Value
learning rate	1×10^{-5}
batch size	6
optimizer	AdamW
weight decay	0.005
lr scheduler	StepLR

Table 2. Scenarios

Scenario	k-fold	epoch
Exp-A	0	100
Exp-B	7	100
Exp-C	7	50

III. RESULTS

Mean IoU and Mean Accuracy measures are presented for three experimental scenarios (Exp-A, Exp-B, Exp-C) performed with the Mask R-CNN model. In Exp-A, the dataset was fitted with 15% of the total number of images as validation data and 15% of the total number of images as test data. In Exp-B and Exp-C applications, 15% was used as test data in the same way. Test data was randomly selected from the dataset. Table 3 shows Mean IoU and Mean Accuracy results.

A. Exp-A - Single Split Training Test (100 Epoch)

The first experiment with fixed training-test separation identified baseline performance with Mean IoU = 0.560 and Mean Accuracy = 0.605.

B. Exp-B – 7-Fold Cross-Validation (50 Epoch)

The 7-fold cross-validation, which increases data diversity, provided the highest accuracy with Mean IoU = 0.887 and Mean Accuracy = 0.911. Compared to Exp A, an increase of 32.7 percentage points (about 58%) in Mean IoU and 30.6 percentage points (about 51%) in Mean Accuracy was observed.

C. Exp-C – 7-Fold Cross-Validation (100 Epoch)

In this scenario where the training time was halved, Mean IoU = 0.834 and Mean Accuracy = 0.867 were obtained. Compared to Exp B, it provided a time-saving balance with a loss of -0.052 points in IoU and -0.045 points in accuracy.

Table 3. Mean IoU and Mean Accuracy Results

Application	Mean IoU	Mean Accuracy	k-fold / Epoch
Exp-A	0.560	0.605	0 / 100
Exp-B	0.887	0.911	7 / 100
Exp-C	0.834	0.867	7 / 50

Cross-validation improved accuracy: 7-fold cross-validation (Exp B) resulted in about 58% increase in Mean IoU and about 51% increase in Mean Accuracy compared to the baseline scenario (Exp A).

Shorter training time stabilised output: Exp C with 50 epochs produced accuracy close to Exp B while reducing training time by about half.

Model stability: The small differences between Exp B and Exp C show that cross-validation maintains learning stability even when reducing the number of epochs.

IV. DISCUSSION

Mask R-CNN trained with 7-fold cross-validation segmented bone fractures with an IoU of 0.887 and a mean accuracy of 0.911, demonstrating that cross-validation is crucial for generalisability. The improvement from the 0.560 IoU obtained with a fixed train–test split (Exp-A) to 0.887 (Exp-B) shows that exposing the network to multiple data partitions prevents memorisation of the limited samples and yields more stable, reliable predictions. Unlike many earlier studies that offer only binary fracture classification, our segmentation-based approach supplies anatomically precise masks, giving clinicians richer visual information about fracture morphology and location and thus more actionable guidance for treatment planning. The study has several limitations. Although the FracAtlas dataset is carefully annotated, it represents images from only three hospitals; therefore, additional validation on larger, multi-centre cohorts drawn from diverse populations and imaging devices is required. Because the analysis relies on two-dimensional radiographs, subtle nondisplaced or hairline fractures can remain undetected, suggesting that future work should incorporate three-dimensional modalities such as computed tomography. We also observed that shortening training from one hundred to fifty epochs reduced performance by roughly five percent; this modest loss indicates that the time-accuracy balance can be tuned for practical deployment, but the optimal trade-off must be determined for each clinical scenario. Given these results, the model holds strong potential for routine use, especially in high-volume environments like emergency departments, where it could serve as a second set of eyes and support less-experienced physicians. Future research should enrich the model with three-dimensional data, perform external validation on multinational datasets, and embed the system in real-time clinical workflows so that its impact on patient outcomes can be measured prospectively.

V. CONCLUSION

This study successfully demonstrated that the Mask R-CNN deep learning architecture can detect and segment bone fractures with high accuracy from radiographic images. The 7-fold cross-validation technique was proven to dramatically improve the generalisation ability and reliability of the model compared to a single training-test split, achieving an accuracy rate exceeding 91%. Furthermore, halving the training time leads to only a limited degradation in performance, demonstrating that the proposed method offers a practical and scalable solution even for resource-constrained clinical settings.

The findings provide concrete evidence that deep learning-based automated segmentation systems can be a powerful decision support tool with the potential to reduce human errors in radiological diagnosis and accelerate clinical workflows. Integrating this technology into clinical practice by validating it with larger data sets in the future will be an important step towards improving the quality of patient care.

REFERENCES

- [1] Myint, S., A.S. Khaing, and H.M. Tun, Detecting leg bone fracture in x-ray images. *International Journal of Scientific & Research*, 2016. 5: p. 140-144.
- [2] Yadav, D.P. and S. Rathor. Bone Fracture Detection and Classification using Deep Learning Approach. in 2020 International Conference on Power Electronics & IoT Applications in Renewable Energy and its Control (PARC). 2020.
- [3] Anttila, T.T., et al., Detecting distal radius fractures using a segmentation-based deep learning model. *Journal of digital imaging*, 2023. 36(2): p. 679-687.
- [4] Del Piñal, F., et al., Distal radius fractures. *Journal of Hand Surgery (European Volume)*, 2022. 47(1): p. 12-23.
- [5] Court-Brown, C.M. and B. Caesar, Epidemiology of adult fractures: a review. *Injury*, 2006. 37(8): p. 691-697.
- [6] Gan, K., et al., Artificial intelligence detection of distal radius fractures: a comparison between the convolutional neural network and professional assessments. *Acta orthopaedica*, 2019. 90(4): p. 394-400.
- [7] Blüthgen, C., et al., Detection and localization of distal radius fractures: Deep learning system versus radiologists. *European journal of radiology*, 2020. 126: p. 108925.
- [8] Guly, H., Injuries initially misdiagnosed as sprained wrist (beware the sprained wrist). *Emergency medicine journal*, 2002. 19(1): p. 41-42.
- [9] Arora, R., et al., A prospective randomized trial comparing nonoperative treatment with volar locking plate fixation for displaced and unstable distal radial fractures in patients sixty-five years of age and older. *Jbjs*, 2011. 93(23): p. 2146-2153.
- [10] Wei, C.-J., et al., Systematic analysis of missed extremity fractures in emergency radiology. *Acta radiologica*, 2006. 47(7): p. 710-717.
- [11] Suen, K., R. Zhang, and N. Kutaiba, Accuracy of wrist fracture detection on radiographs by artificial intelligence compared to human clinicians. A systematic review and meta-analysis. *European Journal of Radiology*, 2024. 178.
- [12] Ramadanov, N., et al., Artificial intelligence-guided distal radius fracture detection on plain radiographs in comparison with human raters. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, 2025. 20(1): p. 468.
- [13] Esteva, A., et al., A guide to deep learning in healthcare. *Nature medicine*, 2019. 25(1): p. 24-29.
- [14] Lakhani, P. and B. Sundaram, Deep learning at chest radiography: automated classification of pulmonary tuberculosis by using convolutional neural networks. *Radiology*, 2017. 284(2): p. 574-582.
- [15] Olczak, J., et al., Artificial intelligence for analyzing orthopedic trauma radiographs: deep learning algorithms—are they on par with humans for diagnosing fractures? *Acta orthopaedica*, 2017. 88(6): p. 581-586.
- [16] Kim, D. and T. MacKinnon, Artificial intelligence in fracture detection: transfer learning from deep convolutional neural networks. *Clinical radiology*, 2018. 73(5): p. 439-445.
- [17] Lindsey, R., et al., Deep neural network improves fracture detection by clinicians. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2018. 115(45): p. 11591-11596.
- [18] Oude Nijhuis, K.D., et al., An open source convolutional neural network to detect and localize distal radius fractures on plain radiographs. *European Journal of Trauma and Emergency Surgery*, 2025. 51(1): p. 26.
- [19] Abedeen, I., et al., FracAtlas: A Dataset for Fracture Classification, Localization and Segmentation of Musculoskeletal Radiographs. *Scientific Data*, 2023. 10(1): p. 521.
- [20] Pizer, S.M., et al., Adaptive histogram equalization and its variations. *Computer vision, graphics, and image processing*, 1987. 39(3): p. 355-368.
- [21] Stimper, V., et al., Multidimensional contrast limited adaptive histogram equalization. *IEEE Access*, 2019. 7: p. 165437-165447.
- [22] Zhang, H., et al., A scale-adaptive Mask R-CNN strategy for foreground particle segmentation and geometrical analysis of granular aggregates. *Applied Soft Computing*, 2024. 164: p. 111931.
- [23] He, K., et al. Mask r-cnn. in *Proceedings of the IEEE international conference on computer vision*. 2017.

- [24] Hong, S., et al., Improved Mask R-CNN Combined with Otsu Preprocessing for Rice Panicle Detection and Segmentation. *Applied Sciences*, 2022. 12(22): p. 11701.
- [25] Xie, S., et al. Aggregated Residual Transformations for Deep Neural Networks. in *2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. 2017.
- [26] Huang, H., et al., Deep learning-based instance segmentation of cracks from shield tunnel lining images. *Structure and Infrastructure Engineering*, 2022. 18(2): p. 183-196.

Hidrolik Kontrollü Robotik El Tasarımı ve Simülasyonu

Mahmut Can Şenel^{1*}

¹Makine Mühendisliği Bölümü / Mühendislik Fakültesi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Türkiye

*mahmutcan.senel@omu.edu.tr

Özet – Günümüzde bilim ve teknoloji her geçen gün hızla gelişmektedir. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte insan gücüne olan talep de gün geçtikçe azalmaktadır. İnsan kaynaklı hataların ve iş kazası riskinin minimize edilmesi ve üretim proseslerinin hızla gerçekleştirilmesi amacıyla robotik teknolojiler kullanılmaya başlanmıştır. Robot teknolojileri; üretim ve montaj hatlarında, lojistik ve depolamada, sağlık sektöründe ve tarım sektöründe yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu çalışmada birçok sanayi kuruluşunda kullanılabilecek hidrolik kontrollü robotik el tasarımı gerçekleştirilerek simüle edilmiştir.

Anahtar Kelimeler – Hidrolik, Robotik El, Simülasyon.

I. GİRİŞ

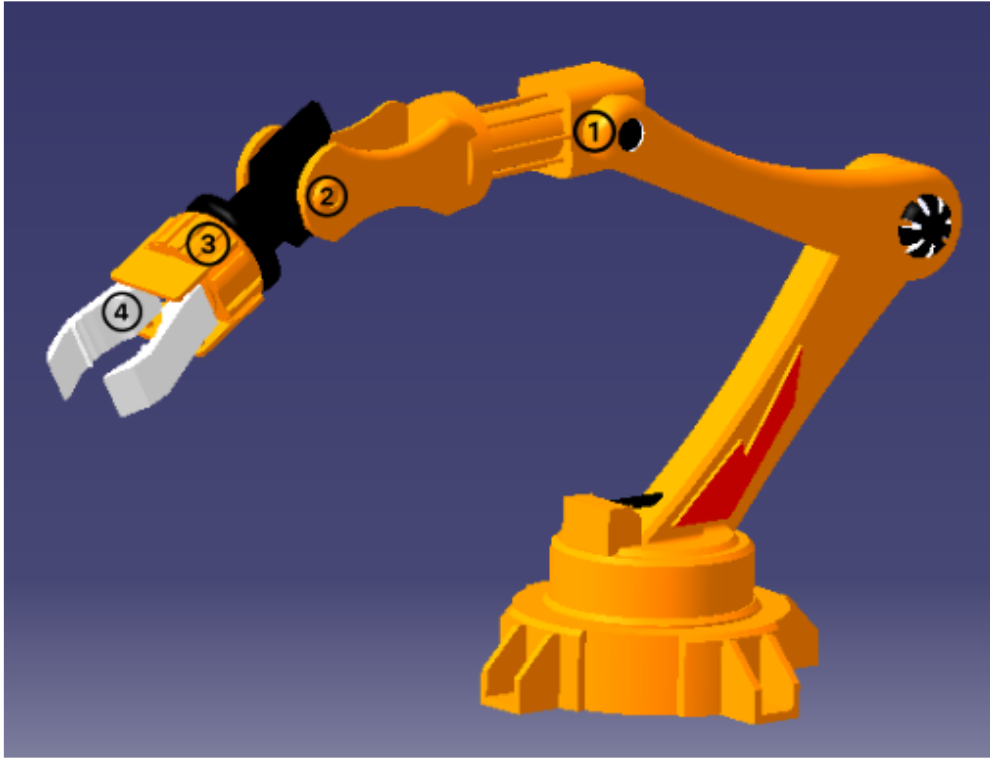
Hidrolik sistemler, sıkıştırılamaz akışkanların basınç altındaki hareketlerini kullanarak enerji iletimi ve hassas kontrol sağlayan mekanizmalardır [1, 2]. Yüksek güç yoğunluğu, düşük enerji kaybı ve geniş hareket kontrol kapasitesi sayesinde bu sistemler, endüstriyel otomasyon, robotik uygulamalar, ağır yük taşıma ve iş makineleri gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır [3, 4]. Hidrolik sistemlerin avantajları; hız ayarının kademesiz ve hareket yönünün değiştirilebilir olması, az yer kaplaması ve eleman hacimlerinin küçük olması, bakım ve onarımının kolay olması, ince ve hassas ayar yapılabilmesi, sistemlerin gürültüsüz ve emniyetli çalışabilmesidir. Hidrolik sistemlerin dezavantajları ise devre elemanlarının pahalı olması, devre elemanlarının düşük hızlarda çalışmaları sebebiyle yüksek hızların elde edilememesi, hidrolik akışkanların yüksek ısıya karşı duyarlı olmaları, yüksek basınç altında çalışabildiklerinden bu basınca dayanabilecek yüksek malzeme kalitesine sahip devre elemanlarına ihtiyaç duyulmasıdır [5, 6].

Bu çalışma kapsamında, hassas işlerdeki yüksek güç ve kontrol ihtiyaçlarını karşılamak üzere bir hidrolik kontrollü robotik el tasarımı gerçekleştirilmiştir. Sistem, sıkıştırılamaz hidrolik sıvıların basınçlı akışını kullanarak robotik elin tutucularını, bileğini ve kolunu hareket ettirebilmektedir. Hidrolik silindirler, sıvı basıncını mekanik hareketlere dönüştürerek robotik elin kavrama, kaldırma ve döndürme gibi görevleri etkin bir şekilde yerine getirmesini sağlamaktadır. Tasarım sürecinde hidrolik silindirler, yön kontrol valfleri, akış kontrol valfleri ve bir hidrolik pompa gibi temel hidrolik elemanlar kullanılmıştır. Bu bileşenler, robotik elin çok eksenli hareket kabiliyetine olanak tanımış ve sistemin hassasiyetini artırmıştır. Fluid-Sim yazılımı kullanılarak oluşturulan hidrolik devre tasarımı, sistemin işlevselliğini doğrulamak amacıyla simüle edilmiştir.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Tasarım, robotik elin farklı işlevlerini yerine getirebilmesi için dört ana bölümde ele alınmıştır. Bu bölümler, hidrolik sistemin sağladığı hareketlerin her birini temsil etmektedir ve numaralandırılarak tanımlanmıştır. Hidrolik kontrollü robotik elin katı modeli Şekil 1’de gösterilmektedir. 1 numaralı bölüm, robotik kolun ileri-geri hareketini sağlayan kısımdır. 2 numaralı bölüm, elin açma-kapama hareketini gerçekleştiren kısmı temsil ederken, 3 numaralı bölüm, bilekteki dönme hareketini sağlayan döner

mekanizmayı içermektedir. 4 numaralı bölüm ise kavrama ve bırakma hareketlerinin yapıldığı tutucuları temsil eder. Bu bölümler, hidrolik sistemin farklı elemanlarıyla kontrol edilerek robotik elin endüstriyel ve hassas işlevleri yerine getirmesini sağlamaktadır.



Şekil 1. Hidrolik kontrollü robotik el tasarımına ait katı model

Hidrolik kontrollü bir robotik el, karmaşık hareketleri gerçekleştirebilen bir mekanik sistemdir. Bu sistemin temel çalışma prensibi, hidrolik akışkan basıncıyla sistemin hareket ettirilmesi üzerine kuruludur. Sistemde, bir pompa tarafından belirli bir basınçta devreye iletilen akışkan, valfler aracılığıyla yönlendirilir ve silindirlere ulaştırılır. Silindirler, bu basınç altında hareket ederek robotik elin hareketlerini gerçekleştirir.

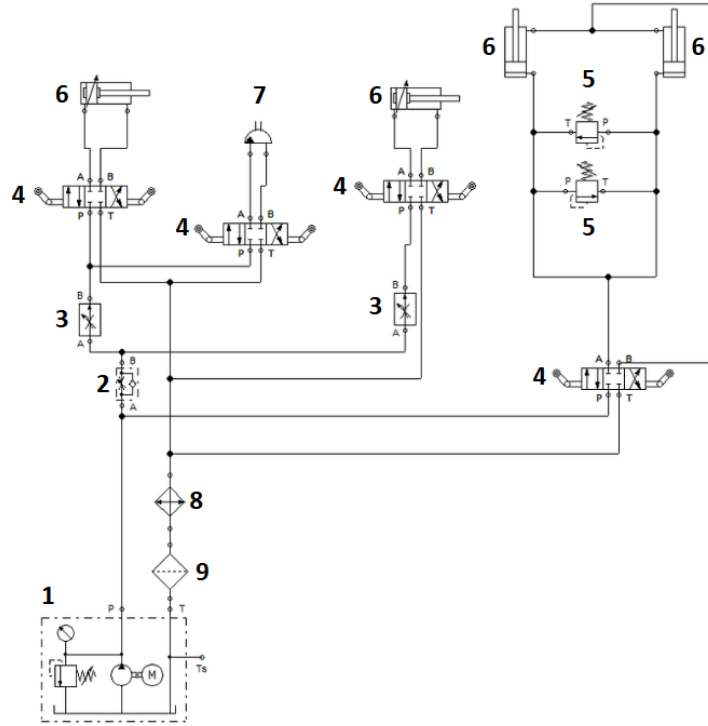
Tasarım, beş ana bölümden oluşan bir hidrolik devreye sahiptir. Devre, kol ve elin ileri-geri hareketi, bilekteki dönme hareketi, elin kavrama ve bırakma hareketini sağlamaktadır. Pompa ünitesi, devreye hidrolik akışkanı ileten ve sistemin ihtiyaç duyduğu basıncı sağlayan temel enerji kaynağını oluşturur. Kolun açma ve kapama hareketlerini sağlayan çift etkili silindir, yön kontrol valfi ile kontrol edilmekte olup, sıvı basıncını mekanik hareketlere dönüştürerek kolun ileri-geri hareket etmesini sağlar. Yarı döner aktüatörde ise hidrolik akışkanın yönü belirlenerek bilek üzerinde sınırlı bir açıyla dönme hareketi gerçekleştirilir. Robotik elin açma ve kapama hareketi, bir başka çift etkili silindir aracılığıyla sağlanır. Robotik elin kavrama ve bırakma işlemleri ise, iki adet çift etkili silindir ile gerçekleştirilir. Basınç kontrol valfleri ise, silindirlerin aşırı basınca maruz kalmasını engelleyerek sistemin güvenli çalışmasını sağlar. Hidrolik kontrollü robotik el devresinde bulunan elemanlar ve işlevleri Tablo 1’de gösterilmektedir.

Tablo 1. Hidrolik kontrollü robotik el tasarımına ait hidrolik devre elemanları

Hidrolik devre elemanı	İşlevi	Adet
Pompa ünitesi	Akışkanı depodan alarak sisteme gerekli basınç ve debide iletilmesini sağlar.	1
Filtre	Akışkanın içerisindeki yabancı maddeleri, kir ve partikülleri arındırır.	1
Soğutucu	Akışkanın sistem içerisindeki sürtünmeden kaynaklı ısınmasını önler.	1
4/3 yön kontrol valfi	Akışkanın iki farklı yön arasında kontrol edilmesini ve gerektiğinde akışı durdurmayı sağlar.	4
İki yollu akış kontrol valfi	Akış hızını düzenlemek için kullanılan bu valf, sistemdeki akışın belirli bir kısmını sınırlandırarak aktüatörlerin hareket hızını kontrol eder. İki giriş ve çıkış hattı vardır.	2
Tek yollu akış kontrol valfi	Tek yönde akışa izin veren bu valf, geri dönüş akışını engelleyerek sistemdeki tek yönlü hareketlerin kontrolünü sağlar.	1
Basınç kontrol valfi	Sistem içindeki basıncı belirli bir seviyede tutarak, bileşenlerin aşırı basınçtan zarar görmesini önler.	2
Çift etkili silindir	İki yönlü hareket sağlayan bu silindir, her iki yönde de sıvı basıncıyla hareket ettirilebilir.	4
Yarı döner aktüatör	Sınırlı bir açıyla dönme hareketi yapabilen aktüatörler, genellikle döner tahrik gerektiren uygulamalarda kullanılır.	1

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Robotik el tasarımı, kol ve elin ileri-geri hareketini, bilekteki dönme hareketini, elin kavrama ve bırakma hareketini sağlayan bir hidrolik devreye sahiptir. Bu devre Şekil 2’de gösterilmektedir. Pompa ünitesi (1) devreye hidrolik akışkanı iletir ve sistemin ihtiyaç duyduğu basıncı sağlar. Tek yollu akış kontrol valfi (2) tek yönde akışa izin vererek sistemdeki tek yönlü hareketleri sağlar. Kol açma ve kapama hareketlerini sağlayan çift etkili silindir (6), yön kontrol valfi (4) ile kontrol edilmektedir. Bu silindir, sıvı basıncını mekanik hareketlere dönüştürerek kolun ileri-geri hareket etmesini mümkün kılar. İki yollu akış kontrol valfi (3), akış hızını düzenlemek için kullanılır ve iki tane giriş ve çıkış hattı vardır. Yarı döner aktüatör (7) ise bilekteki dönme hareketini sağlamak için kullanılmıştır. Aktüatör, yön kontrol valfi (4) ile kontrol edilerek, hidrolik akışkanın yönü belirlenir ve bilek üzerinde sınırlı bir açıyla dönme hareketi gerçekleştirilir. Robotik elin açma ve kapama hareketi, bir başka çift etkili silindir (6) aracılığıyla gerçekleştirilir. Robotik elin kavrama ve bırakma işlevini, iki adet çift etkili silindir ile gerçekleştirilir. Basınç kontrol valfleri (5) ise silindirlerin aşırı basınca maruz kalmasını engelleyerek sistemin güvenli çalışmasını sağlar. Soğutucu (8) akışkanın sistem içerisindeki sürtünmeden kaynaklı ısınmasını önleyerek viskozitesinin korunmasını sağlar. Aynı zamanda, sistemin verimli çalışmasını sağlayarak aşırı sıcaklıktan kaynaklanan bileşen hasarını engeller. Filtre (9) akışkanın içerisindeki yabancı maddeleri, kir ve partikülleri temizleyerek sistemin uzun ömürlü olmasını ve bileşenlerin hasar görmemesini sağlar. Kirlenmiş bir akışkan, sistem performansını düşürür ve bileşenlerde aşınmaya neden olabilir. Akışkan filtreye gelmeden önce soğutucu tarafından işleme alınmıştır. Bunun sebebi filtrede oluşacak zararın önlenmesidir.



Şekil 2. Robotik el tasarımına ait hidrolik devre

IV. SONUÇLAR

Hidrolik kontrollü robotik el, endüstriyel uygulamalarda yüksek ağırlıkların kaldırılması ve taşınması gibi işlemler için etkili bir çözüm sunmaktadır. Sistem, hareket kabiliyeti sayesinde farklı görevleri yerine getirebilecek yapıdadır. Bu hareket kombinasyonları, robotik elin farklı formlara girmesine olanak tanır. Bu tasarım, özellikle ağır sanayi, otomotiv üretim hatları ve hassas montaj süreçleri gibi alanlarda kullanıma uygundur.

Robotik elin işlevselliğini ve hassasiyetini artırmak için, eklem sayısının artırılması ve serbestlik derecesinin yükseltilmesi önemli bir gelişme sağlayacaktır. Daha fazla serbestlik derecesi, robotik elin daha karmaşık ve detaylı hareketler gerçekleştirebilmesini mümkün kılarak, tıbbi protez uygulamalarından hassas montaj süreçlerine kadar çeşitli alanlarda kullanımını yaygınlaştırabilir. Ancak, bu tür iyileştirmeler daha kompleks bir devre tasarımı ve daha gelişmiş kontrol sistemlerini gerektirir. Bu doğrultuda, devrede daha fazla yön kontrol valfi, hassas akış kontrol valfleri ve sensörlerin entegrasyonu gibi geliştirmeler önerilmektedir. Sonuç olarak, mevcut hidrolik kontrollü robotik el tasarımı, endüstriyel kullanımlar için güvenilir ve işlevsel bir çözüm sunmaktadır. Önerilen geliştirmelerle birlikte, bu sistem daha yüksek hassasiyet ve genişletilmiş fonksiyonlar ile gelecekteki endüstriyel ve teknolojik gereksinimlere uyum sağlayacak şekilde geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Anonim (2005). Hidrolik Sistemler, Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi (MEGEP), Makine Teknolojisi, Ankara,
- [2] Akkaya, A. & Şaban, Ç. (2003). "Bir Doğrusal Hidrolik Hareketlendirici Sistemin Bulanık Mantık Yaklaşımıyla Konum Kontrolü" III.Ulusal Hidrolik Pnömatik Kongresi ve Sergisi, İzmir.
- [3] Parr, A. (2011). Hydraulics and Pneumatics: A Technician's and Engineer's Guide. Butterworth-Heinemann.
- [4] Merritt, H. E. (1967). Hydraulic Control Systems. John Wiley & Sons.
- [5] Boran K, Özdemir A., & Ulaş H. (1998). Bilgisayar destekli hidrolik devre tasarımı. Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2(2), 15-23.
- [6] Tınkır, M., & Sezgen, H.Ç. (2016). H Tipi hidrolik presin modellenmesi ve konum geri beslemeli oransal-türevsel kontrolü. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 18(54), 535-547.

Object Detection of Fire and Smoke Using Deep Learning

Abdulrahman HAMDI¹, Kemal ADEM² and Esra KAVALCI YILMAZ^{3,*}

¹ Sivas Cumhuriyet University, Computer Engineering Department, Sivas, Türkiye

² Sivas Cumhuriyet University, Computer Engineering Department, Sivas, Türkiye

³ Sivas University of Science and Technology, Computer Engineering Department, Sivas, Türkiye.

*esra.kavalci@sivas.edu.tr

Abstract – In this study, a deep learning-based object recognition system for real-time detection of smoke and fire has been developed. The Smoke and Fire Detection YOLO Dataset was used in the study, and the dataset consists of a total of 21,527 labeled images belonging to four different classes: smoke only, fire only, both, and background. The labeling process was performed in advance in accordance with the YOLO format. Model training was performed using the YOLOv5, YOLOv11, and Faster R-CNN architectures. The model's performance was evaluated using various metrics, with the highest average F1 score obtained being 0.61%. The overall mAP@0.5 value was calculated as 0.606, with smoke being the class with the highest success rate (64.3%) and fire being the class with the lowest success rate (56.9%). The model's class discrimination ability was analyzed in detail using a confusion matrix, precision-recall curves, and other visualization tools. The results obtained demonstrate that deep learning methods can provide reliable, fast, and scalable solutions for fire detection systems and have significant potential, particularly for real-time security applications.

Keywords – Fire Detection, Smoke Classification, Deep Learning, YOLOv11, Computer Vision, Object Recognition.

I. INTRODUCTION

Fires pose a serious threat to life and property safety. Timely and effective control of fire spread is critical to minimizing damage and preventing loss of life. Therefore, early detection of fire hazards is of great importance. Traditional sensor-based systems, such as temperature-humidity sensors, smoke detectors, and carbon monoxide sensors, may face various issues such as high costs, limited coverage areas, delayed response times, susceptibility to environmental conditions, and false alarms. Additionally, most of these systems do not function effectively until smoke or flame density exceeds a certain threshold, which can lead to critical time losses [1]. Rapid developments in computer vision and deep learning technologies in recent years have enabled the development of visual data-based fire and smoke detection solutions. These approaches offer advantages such as real-time detection, low false alarm rates, and high resilience to environmental variability, presenting an alternative solution to traditional methods [2]. This study aims to develop a real-time and reliable fire detection system in response to this need.

In the literature, there are studies that use various deep learning-based methods for visual data-based fire and smoke detection. Tao et al. [3] noted that existing object detection algorithms are slow and have low accuracy, and proposed a new YOLOv8-based model as a solution to these problems. In their proposed model, the CBAM attention mechanism was integrated to enable more effective learning of multi-scale features and weight stabilization, and the loss function was optimized to successfully process objects of different sizes. The study reported that the proposed model achieved a 3% improvement over other methods with a mAP value of 0.490. Goel et al. [4] developed a new CNN-based fire detection system, investigated fire flame features, and aimed to detect fires from live camera data using edge detection and thresholding

algorithms. The developed model was tested on a specially created fire dataset and achieved successful results in terms of fire detection accuracy. Li et al. [5] highlighted the need for high accuracy and lightweight models in edge devices with limited resources used for fire detection. In this context, they proposed a new fire and smoke detection algorithm called “YOLOv5sFSDA” based on YOLOv5s. The model integrates a Cross-Scale Feature Fusion (CFF) structure for effective recognition of features at different scales, uses GhostConv technology to reduce model load, and applies the Content-Aware Feature Re-aggregation (CARAFE) sampling method to increase content awareness. The results of the study indicate that model complexity was reduced by 30% and computational costs by 18%, while overall detection performance was improved.

In this study, YOLOv5, YOLOv11, and Faster R-CNN models were evaluated, and performance analyses were conducted in real-time monitoring scenarios with the aim of improving the approaches proposed in the literature and maximizing the balance between accuracy and speed in fire detection processes. The system used in this study differs from previous methods in that it leverages the advantages of the YOLOv11 architecture, aiming to deliver superior results in terms of both accuracy and speed through its anchor-free structure, DFL loss, and advanced layers.

II. MATERIALS AND METHOD

In this study, fire detection operations were performed on a dataset containing fire images using the YOLOv5, YOLOv11, and Faster R-CNN methods.

A. Dataset

The dataset used in this study is the open-source dataset titled “Smoke and Fire Detection YOLO Dataset” published by Sayed Gamal on the Kaggle platform [6]. The dataset consists of a total of 21,527 images belonging to four different classes: Smoke Only, Fire Only, Smoke and Fire, and None (background). The distribution of the dataset by class is shown in Table 1.

Table 1. Dataset class distribution

Class	#Data
Only fire	1.164
Only smoke	5.867
Fire and smoke	4.658
None	9.838

All image data has been pre-labeled with class labels and bounding boxes in YOLO format.

B. Deep Learning Methods

Recent developments in deep learning and improvements in GPU hardware technology have enabled significant advances in computer vision. Computer vision technologies are of practical importance in terms of contributing to process automation by reducing the need for human labor [7]-[9]. Object detection is one of the fundamental areas of digital image processing and computer vision, enabling the effective use of intelligent tracking systems in various application areas [10],[11]. In this study, a fire detection study was conducted by considering the high accuracy, speed, and real-time monitoring advantages of deep learning-based object detection models such as YOLOv5, YOLOv11, and Faster R-CNN in computer vision applications.

-Faster R-CNN: The Faster R-CNN model, based on a region-based convolutional neural network architecture, is an object detection model that stands out for its high accuracy rate. Faster R-CNN first identifies potential object regions in the image using the Region Proposal Network (RPN). It then accurately classifies these regions to determine their locations. This structure is particularly successful in detecting small objects and complex images [16]. Compared to other real-time detection models, it may take longer to process. However, due to its high accuracy rate, it is frequently preferred in areas where precision is critical, such as industrial quality control, video analysis, security, and defense systems. Thanks to Faster

R-CNN's modular structure, it can be integrated with different backbone models and offers a customizable structure according to application needs [17].

-YOLOv5: It is based on the YOLO model introduced in the study “You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection” conducted by Redmon and colleagues [12]. YOLOv5, a frequently preferred deep learning model in the field of object detection, can perform operations at high speed by predicting the locations and classes of objects in images in a single step. It offers predefined models of different sizes (s, m, l, x), providing users with flexible usage options tailored to their hardware capabilities and needs. In addition, transfer learning support and an open-source structure based on PyTorch enable the model to be easily customized. Considering all these features, it can be used effectively in real-time monitoring systems and mobile devices thanks to its low latency and fast inference capabilities [13].

-YOLOv11: YOLOv11, one of the most recent versions of methods based on the YOLO model, was developed by Ultralytics and features an advanced architecture that provides a high accuracy rate and speed balance in object detection [10]. The YOLOv11 model improves the backbone and neck structures to offer richer feature extraction. This enables higher performance when detecting smaller objects. Additionally, thanks to advanced data augmentation techniques and adaptive learning capabilities, it demonstrates resilience to various lighting, weather conditions, and background changes, delivering high performance in application areas such as smart tracking, autonomous vehicles, and security systems [15]. A comparison of the parameter values of the YOLOv5 and YOLOv11 models is shared in Table 2.

Table 2. YOLOv5 vs YOLOv11 comparison

Feature	YOLOv5	YOLOv11
Number of Parameters	~7M	~48.1M
Anchor Structure	Anchor-Based	Anchor-Free
FPS (GPU)	~45	~50
Loss Function	CIoU + BCE	CIoU + DFL

III. RESULTS

In this study, fire detection processes were performed using three different deep learning models: YOLOv5, YOLOv11, and Faster R-CNN. The study was conducted in the Google Colab environment using an NVIDIA Tesla T4 (16 GB) GPU. The parameter values used in the study are shared in Table 3.

Table 3. Parameter values used

Parameters	Value
Batch Size	16
Epoch	100
Input Size	640x640
Optimization	SGD (Adaptif Learning Rate)
Loss Function	CIoU + Class Loss + DFL

The results of the fire detection study conducted with the YOLOv5, YOLOv11, and Faster R-CNN models were evaluated and analyzed in terms of themAP@0.5s, F1 Score, Precision, and FPS metrics. The results obtained in the study are shared in Table 4.

Table 4. Results obtained in the study

Model	mAP@0.5	F1 Score	Precision	FPS
YOLOv5	0.578	0.59	0.62	45
YOLOv11	0.606	0.61	0.63	50
Faster R-CNN	0.521	0.53	0.59	7

Table 4 shows a comparison of the performance of deep learning-based object detection models for fire detection in terms of various metrics. The YOLOv5 model provides high accuracy and fast inference time (45 FPS) with 0.578mAP@0.5, and 0.59 F1 score. The YOLOv11 model, on the other hand, demonstrates the highest performance with 0.606mAP@0.5, and 0.61 F1 score, offering an advantage in real-time

applications with 50 FPS. The Faster R-CNN model has a lower accuracy of 0.521mAP@0.5, and 0.53 F1 score, as well as a lower speed of 7 FPS, but it offers competitive performance in terms of reducing false positives with a precision value of 0.59. Overall, the YOLOv11 model provides the best balance between speed and accuracy in fire detection, while YOLOv5 offers a speed advantage and stable performance. Faster R-CNN can be considered an alternative for scenarios that require more accurate detection but do not require real-time performance. These results demonstrate that YOLO-based models offer a suitable and effective solution for real-time monitoring in fire detection applications. mAP@0.5s obtained from experiments conducted with the YOLOv5, YOLOv11, and Faster R-CNN models for fire detection are compared in Figure 1.

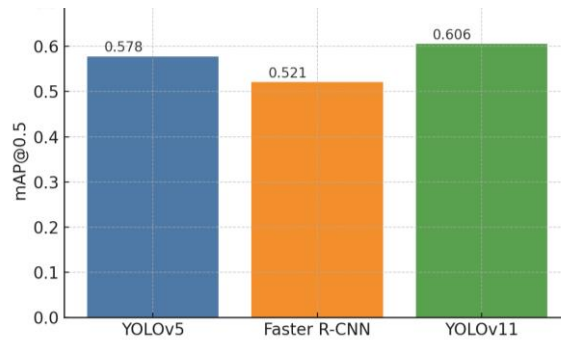


Fig. 1 Comparison of the mAP values of the models

When examining Figure 1, it is seen that the YOLOv11 model demonstrates the highest performance with a mAP@0.5 value of 0.606, providing superior accuracy in fire detection. The YOLOv5 model maintains its high performance despite showing slightly lower accuracy than YOLOv11 with a mAP@0.5 value of 0.578. The Faster R-CNN model, on the other hand, shows a lower accuracy compared to other models with a mAP@0.5 value of 0.521. These results show that YOLO-based models can provide high accuracy rates in fire detection applications and reveal that the YOLOv11 model is a more advantageous option in terms of accuracy in this field. The loss curve for the training process of the YOLOv11 model, which provides the best results, is shared in Figure 2.

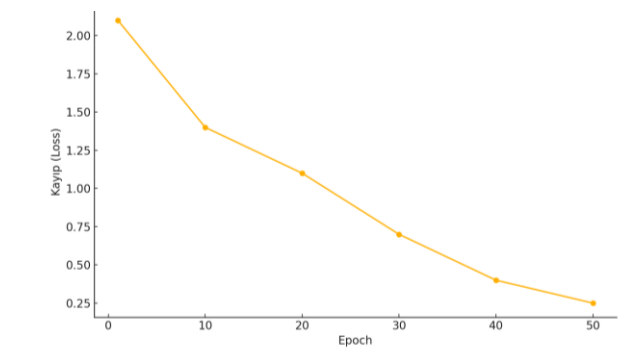


Fig. 2 YOLOv11 loss-epoch graph

When examining Figure 2, it can be observed that there is a regular decrease in the loss value as the number of epochs increases during the training process. This shows that the model continues to learn at the end of each epoch and can make better predictions with the updating of its weights. The steady decrease in the loss value shows that the model underwent a balanced learning process without overfitting and was effectively optimized on the training data. Fire detection performed on an indoor image using the YOLOv11 model is shown in Figure 3.

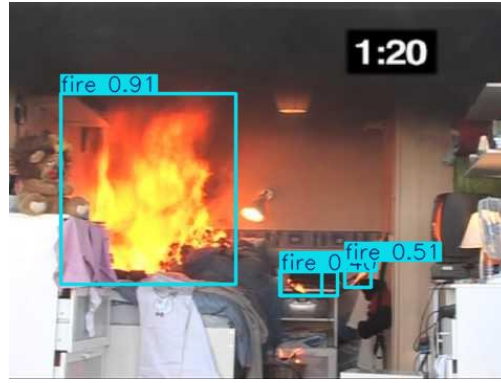


Fig. 3 YOLOv11 indoor fire detection

Upon examining Figure 3, it can be seen that the intense flame forming in the large area in the upper left part of the image was detected with a 91% accuracy rate. Additionally, the fire areas at two different points in the lower right region of the image were detected with accuracy rates of 51% and 47%. The high accuracy value obtained in the high-intensity flame region demonstrates that the model performs well in large and distinct fire scenes. The moderate accuracy values obtained in smaller flame areas indicate that the model can distinguish between areas of fire with different intensities and sizes. The smoke and fire detection image taken outdoors is shared in Figure 4.



Fig. 4 YOLOv11 outdoor smoke and fire detection

When Figure 4 is examined, it can be seen that a dense smoke area was correctly detected with an accuracy rate of 91%. In addition, it can be seen that fire areas with low density in two different regions in the image were also detected with accuracy rates of 37% and 28%. Considering the density and area coverage of the smoke, it can be observed that the model achieved high success in smoke detection. The detection of fire areas with low probability values may be due to the flames being small in size or partially visible in the image during the early stages of the fire.

IV. DISCUSSION

The results of this study demonstrate that deep learning-based models are effective in real-time fire and smoke detection. The YOLOv11 model demonstrated the best performance in terms of accuracy (mAP@0.5: 0.606) and speed. While particularly successful on large and intense flames, its performance deteriorates in low-visibility areas. The slower Faster R-CNN stands out with its high accuracy. The findings demonstrate a trade-off between accuracy and speed; future approaches such as attention mechanisms and video-based time coherence are recommended to improve this balance.

V. CONCLUSION

In this study, the performance of deep learning-based object recognition systems for real-time detection of smoke and fire was evaluated, and the YOLOv5, YOLOv11, and Faster R-CNN models were compared. The results showed that the YOLOv11 model achieved the highest accuracy values with a 0.606mAP@0.5, and 0.61 F1 score, and was the most suitable solution for real-time monitoring applications thanks to its fast inference capability (50 FPS). Although YOLOv5 performed slightly lower than YOLOv11 in terms

of accuracy, it stood out for its applicability in mobile and embedded systems thanks to its high speed advantage. Faster R-CNN can be considered a competitive alternative in scenarios that require high sensitivity but do not require real-time performance, especially in small object detection. However, among the limitations of the study are the limited variety of examples of different camera angles, resolutions, environmental conditions (wind, day-night, smoke carried by wind), and different stages of fire, despite the data set used being open source. Furthermore, since training was conducted using only static images, it was not possible to evaluate transitions between consecutive frames in the video stream or ensure temporal consistency. Additionally, tests conducted in a GPU-supported environment did not provide information about performance, energy consumption, and integration processes on edge devices, which constitutes a significant limitation. Future studies should focus on creating large-scale, scenario-based datasets for different stages of a fire and various weather and lighting conditions, improving model performance through attention mechanisms, transformer-based detection architectures (DETR) and ensemble structures, reducing false positive rates by using temporal information from consecutive frames in video streams, and improving performance with low-resolution data for fire detection and early-stage smoke detection in drone and UAV-based systems.

REFERENCES

- [1] Y. Liu, C. Bo, and C. Feng, 'FB-YOLOv8s: A Fire Detection Algorithm Based on YOLOv8s', *Cogn. Robot.*, Jun. 2025, doi: 10.1016/j.cogr.2025.06.002.
- [2] 'Enhancing Fire Detection with YOLO Models: A Bayesian Hyperparameter Tuning Approach', *Comput. Mater. Contin.*, vol. 83, no. 3, pp. 4097–4116, May 2025, doi: 10.32604/cmc.2025.063468.
- [3] Y. Tao, B. Li, P. Li, and J. Qian, 'Improved Smoke and Fire Detection Based on YoLoV8', in 2024 5th International Conference on Machine Learning and Computer Application (ICMLCA), Oct. 2024, pp. 396–399. doi: 10.1109/ICMLCA63499.2024.10754221.
- [4] A. Goel et al., 'An Emerging Fire Detection System based on Convolutional Neural Network and Aerial-Based Forest Fire Identification', in 2023 IEEE International Conference on Computer Vision and Machine Intelligence (CVMI), Dec. 2023, pp. 1–5. doi: 10.1109/CVMI59935.2023.10464824.
- [5] Y. Li, Y. Xu, M. Zhang, and J. Sheng, 'YOLOv5s-FSDA: Fire and Smoke Detection Algorithm Based on Improved YOLOv5s', in 2024 International Symposium on Digital Home (ISDH), Nov. 2024, pp. 7–12. doi: 10.1109/ISDH64927.2024.000008.
- [6] 'Smoke-Fire-Detection-YOLO'. Accessed: Jul. 07, 2025. [Online]. Available: <https://www.kaggle.com/datasets/sayedgamal99/smoke-fire-detection-yolo>
- [7] M. M. Ozguven, G. Yilmaz, K. Adem, and C. Kozkurt, "Use of Support Vector Machines and Artificial Neural Network Methods in Variety Improvement Studies: Potato Example." *Curr Inves Agri Curr Res* 6 (1)-2019. CIACR. MS. ID, 229. CIACR. MS. ID, 229, 2019.
- [8] S. Kılıçarslan, K. Adem, and O. Cömert. "Parçacık sürü optimizasyonu kullanılarak boyutu azaltılmış mikrodizi verileri üzerinde makine öğrenmesi yöntemleri ile prostat kanseri teşhisi." *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi* 7.1 (2019): 769-777.
- [9] E.K. Yılmaz, T. Oğuz, and K. Adem. "A CNN-based hybrid approach to classification of raisin grains." *International Conference on Frontiers in Academic Research*. Vol. 1. 2023.
- [10] Y. Zhang, Z. Guo, J. Wu, Y. Tian, H. Tang, and X. Guo, 'Real-Time Vehicle Detection Based on Improved YOLO v5', *Sustainability*, vol. 14, no. 19, Art. no. 19, Jan. 2022, doi: 10.3390/su141912274.
- [11] M.M. Comert, K. Adem, and M. Erdogan. "Comparative analysis of estimated solar radiation with different learning methods and empirical models." *Atmósfera* 37 (2023).
- [12] J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick, and A. Farhadi, 'You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection', presented at the Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2016, pp. 779–788. Accessed: Jul. 07, 2025. [Online]. Available: https://www.cv-foundation.org/openaccess/content_cvpr_2016/html/Redmon_You_Only_Look_CVPR_2016_paper.html
- [13] J. Huang, K. Zeng, Z. Zhang, and W. Zhong, 'Solar panel defect detection design based on YOLO v5 algorithm', *Heliyon*, vol. 9, no. 8, p. e18826, Aug. 2023, doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e18826.
- [14] L. Wang, S. Wang, B. Wang, Z. Yang, and Y. Zhang, 'Jujube-YOLO: a precise jujube fruit recognition model in unstructured environments', *Expert Syst. Appl.*, vol. 291, p. 128530, Oct. 2025, doi: 10.1016/j.eswa.2025.128530.
- [15] J. Yao, J. Li, X. Xu, C. Tan, K. H. Yap, and R. Su, 'Incorporating vision-based artificial intelligence and large language model for smart traffic light control', *Appl. Soft Comput.*, vol. 179, p. 113333, Jul. 2025, doi: 10.1016/j.asoc.2025.113333.
- [16] Z. Wang and J. Wang, 'Personalized icon design model based on improved Faster-RCNN', *Syst. Soft Comput.*, vol. 7, p. 200193, Dec. 2025, doi: 10.1016/j.sasc.2025.200193.

- [17] X. Kong, X. Li, X. Zhu, Z. Guo, and L. Zeng, 'Detection model based on improved faster-RCNN in apple orchard environment', *Intell. Syst. Appl.*, vol. 21, p. 200325, Mar. 2024, doi: 10.1016/j.iswa.2024.200325.

İstihdam Edilebilirlik Algısının Çalışan Performansı ile İlişkisi Üzerine Kavramsal Bir İnceleme ¹

Çiğdem Kaya ², İsmail Bekci ^{3*} ve Ali Şimşek ⁴

² İşletme Anabilim Dalı / Sosyal Bilimler Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Türkiye

³ İşletme Bölümü / İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Türkiye

⁴ Yönetim ve Organizasyon Bölümü / Isparta Meslek Yüksekokulu, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Türkiye

*(ismailbekci@sdu.edu.tr)

Özet – Bu çalışma, istihdam edilebilirlik algısı ile çalışan performansı arasındaki ilişkinin kuramsal bir çerçevede ele alınması amacıyla hazırlanmıştır. Bu kapsamda, öncelikle performans kavramının tanımı ve önemi incelenmiş, ardından çalışan performansının temel boyutları, özellikleri ve etmenleri açıklanmıştır. Performans, bireyin bilgi, beceri ve yetkinliklerini amaçlı ve planlı bir etkinlik sonucunda somutlaştırması olarak tanımlanmaktadır. Çalışan performansı ise görev performansı ve bağlamsal performans olmak üzere iki temel boyutta sınıflandırılmakta, her iki boyutun da örgütsel etkinliğe farklı şekillerde katkı sağladığı ortaya konulmaktadır.

Çalışmada ayrıca, istihdam edilebilirlik kavramının tarihsel gelişimi ve önemi ayrıntılı biçimde incelenmiş, kavramın toplumsal, kurumsal ve bireysel düzeylerde çeşitli boyutlara sahip olduğu belirtilmiştir. İstihdam edilebilirlik, bireyin iş gücü piyasasında kalıcılığını sürdürebilmek için gerekli becerileri sürekli olarak geliştirebilmesi ve iş doyumunun azalması durumunda yeni istihdam fırsatları yaratabilme kapasitesine sahip olması olarak tanımlanmaktadır. Bu bağlamda, istihdam edilebilirlik becerilerinin günümüz iş dünyasında giderek artan bir öneme sahip olduğu ve bireylerin kariyer sürekliliği ile iş güvencesi açısından kritik bir rol üstlendiği belirtilmektedir.

İstihdam edilebilirliğin öznel ve nesnel boyutları ortaya konulmuş, özellikle bireylerin algı düzeylerinin iş güvencesi ve performans üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular doğrultusunda, istihdam edilebilirlik algısının yüksek olmasının çalışanların öz güvenini, iş doyumunu ve buna bağlı olarak performans düzeylerini olumlu yönde etkilediği sonucuna ulaşılmıştır. Sonuç bölümünde, çalışan performansını artırmayı hedefleyen işletmeler için istihdam edilebilirlik algısının geliştirilmesine yönelik öneriler sunulmuş, kavramsal modelin uygulanabilirliği değerlendirilmiş ve gelecekte yapılacak araştırmalar için önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler – İstihdam Edilebilirlik Algısı, Çalışan Performansı, Görev Performansı, Bağlamsal Performans, İş Güvencesi.

¹ Bu çalışma Çiğdem Erk'in "İşsel Motivasyon ve Çalışan Performansının İstihdam Edilebilirlik Algısına Etkisi: Muhasebe Meslek Mensupları Üzerine Bir Araştırma" adlı yayınlanmış yüksek lisans tezinden türetilmiştir.

I. GİRİŞ

İstihdam edilebilirlik, bireylerin iş gücü piyasasında sürdürülebilir biçimde yer alabilme, değişen koşullara uyum sağlayarak yeni iş olanakları oluşturabilme ve kariyer gelişimlerini sürdürebilme kapasiteleri olarak ifade edilmektedir. Bu kavram, yalnızca iş bulma yeterliliğini değil, aynı zamanda iş yaşamında süreklilik ve gelişim sağlama yetkinliğini de içermektedir. İstihdam edilebilirlik, bireylerin iş gücü piyasasındaki kalıcılığını sağlayacak bilgi ve becerilere sahip olma durumu olarak tanımlanmaktadır [1], [2]. İstihdam edilebilirlik olgusu, tarihsel süreç içerisinde toplumsal, kurumsal ve bireysel olmak üzere üç temel düzeyde incelenmektedir. Toplumsal düzeyde istihdam edilebilirlik, hükümetler tarafından ekonomik refahı artırmaya ve işsizlik oranlarını düşürmeye yönelik politikalar kapsamında değerlendirilmektedir. Kurumsal düzeyde ise, çalışanların istihdam sürekliliğini destekleyici yapıların oluşturulması ve insan kaynağının etkili bir biçimde yönetilmesi olarak tanımlanmaktadır. Bireysel düzeyde ise, bireylerin iç ve dış iş gücü piyasasında tatmin edici bir işe sahip olabilmesi ve bu konumu sürdürebilme yetkinliği ön plana çıkarılmaktadır [3].

Son yıllarda artan küresel rekabet, teknolojik gelişmeler, iş güvencesizliğinin yaygınlaşması ve iş dünyasında esneklik taleplerinin artması, istihdam edilebilirliği stratejik bir insan kaynakları yönetimi unsuru hâline getirmiştir. Esnek çalışma biçimleri, geçici ve yarı zamanlı iş ilişkileri ile proje bazlı istihdam uygulamaları, bireylerin yalnızca bir işe yerleşmekle sınırlı kalmayıp, yaşam boyu iş bulabilme kapasitesine sahip olmalarını gerektirmiştir [4], [5]. Bu çerçevede, bireylerin sahip oldukları beceriler, yetkinlikler, deneyimler ve öznel algılar, istihdam edilebilirlik düzeylerinin belirlenmesinde kritik bir rol oynamaktadır. Özellikle “istihdam edilebilirlik algısı” kavramı, bireylerin kendi bilgi ve yeteneklerine dayanarak iş piyasasında ne ölçüde talep göreceklere ilişkin öznel değerlendirmelerini ifade etmektedir [6]. Bu algı, bireyin kariyerine ilişkin kontrol hissi ve psikolojik durumu ile doğrudan ilişkili olarak değerlendirilmektedir [7]. Bazı bireyler yeterli becerilere sahip olmasalar dahi iş bulabileceklerine inanırken, bazıları güçlü yönlerine rağmen kendilerini yetersiz görebilmektedir. Bu farklılıkların, bireylerin iş yaşamına yönelik tutumlarını ve performans düzeylerini doğrudan etkilediği görülmektedir. Literatürde bu konuya ilişkin yapılan araştırmalarda, istihdam edilebilirlik algısının çalışan performansı üzerinde önemli etkiler yarattığı ortaya konulmuştur [8], [9]. Yüksek istihdam edilebilirlik algısına sahip bireylerin iş doyumlarının, iş bağlılıklarının ve örgütsel katkılarının daha yüksek olduğu, dolayısıyla örgütsel performansa da olumlu katkı sağladıkları belirtilmektedir. Buna karşılık, düşük istihdam edilebilirlik algısının bireylerde güvensizlik duygusunu artırdığı ve motivasyon ile performans düzeylerini düşürdüğü ifade edilmektedir [10].

Bu çalışmanın araştırma sorusu, “istihdam edilebilirlik algısı çalışan performansını nasıl etkilemektedir?” şeklinde belirlenmiştir. Araştırmanın amacı, söz konusu ilişkiyi kuramsal bir çerçevede açıklamak ve uygulamaya yönelik öneriler geliştirmektir. Literatürde konuya ilişkin mevcut çalışmaların çoğunlukla bu iki kavramı bağımsız biçimde ele aldığı ve aralarındaki nedensel ilişkinin sistematik olarak incelenmediği görülmektedir. Bu doğrultuda, çalışmanın özgün katkısı, istihdam edilebilirlik algısının çalışan performansı üzerindeki etkilerini çok boyutlu biçimde ortaya koymak ve bu ilişkinin hem bireysel hem de örgütsel düzeyde nasıl yapılandığını incelemektir. Bu kapsamda, çalışmada ilk olarak performans kavramı ve çalışan performansının boyutları ele alınmakta, ardından istihdam edilebilirlik kavramı, bileşenleri, boyutları ve istihdam edilebilirlik algısı kuramsal düzeyde incelenmektedir. Son olarak, bu iki kavram arasındaki ilişki literatür bulguları doğrultusunda değerlendirilmekte ve kuramsal bir çerçeve sunulmaktadır.

II. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

A. Performans Kavramı ve Çalışan Performansı

Türk Dil Kurumu’na göre “performans” kavramı, “başarım” ve “verim gücü” anlamlarında kullanılmaktadır [11]. Performans, bireyin bilgi, beceri ve yetkinliklerini planlı bir iş sürecinde kullanarak sonuca ulaşabilmesi olarak tanımlanmaktadır [12]. Ayrıca, işin gereklerine uygun biçimde sonuçlandırılmasını sağlayan beceri ve çaba düzeyi olarak da tanımlanmaktadır [13].

Çalışan performansı, çalışana verilen görevlerin ne ölçüde yerine getirildiğini ifade etmektedir [14]. Bu performansın, örgütsel hedeflerin gerçekleştirilmesinde önemli bir unsur olarak değerlendirildiği belirtilmektedir [15]. Çalışan performansının, çalışanın örgüte sağladığı katma değer ve çıktılarla da ilişkilendirildiği vurgulanmaktadır [16]. Bu performans genellikle görev performansı ve bağlamsal performans olmak üzere iki boyutta ele alınmaktadır [17]. Görev performansı, teknik bilgi ve becerilerle doğrudan yerine getirilen görevleri kapsamaktadır [18]. Bağlamsal performans ise örgütsel ve sosyal bağlamı destekleyen davranışları içermektedir [19], [20].

Çalışan performansını etkileyen etmenler, kişisel, örgütsel, çevresel ve teknolojik olmak üzere dört başlık altında sınıflandırılmaktadır [21], [22]. Kişisel etmenler arasında yaş, cinsiyet, motivasyon, yetenek ve pozitif psikolojik sermaye yer almaktadır [23], [24]. Cinsiyetin, kültürel yapıyla ilişkili olarak performansa etkisi özellikle vurgulanmaktadır [25], [26]. Pozitif psikolojik sermayenin, umut, iyimserlik, öz yeterlilik ve esneklik gibi kişisel özellikleri kapsadığı ifade edilmektedir [21]. Örgütsel etmenler arasında ise örgüt yapısı, iş tasarımı, ast-üst ilişkileri ve çalışma koşulları bulunmaktadır [27]. Mekanik ve organik sistemlerin çalışan performansına etkisi de çeşitli araştırmalarla ortaya konulmuştur [24], [28]. Çevresel etmenlerin, örgütün iç ve dış çevre koşullarıyla ilgili olduğu belirtilmektedir [29]. Bu koşullardaki değişkenlerin performans üzerinde doğrudan ya da dolaylı etkiler yarattığı ifade edilmektedir [30]. Teknoloji ve bilgi yönetiminin, örgütsel verimliliği ve dolayısıyla çalışan performansını etkileyen önemli unsurlar arasında yer aldığı belirtilmektedir. Bu konuda yapılan bazı çalışmalarda, teknoloji ve bilgi paylaşımının performans üzerindeki olumlu etkileri ortaya konmuştur [29].

B. İstihdam Edilebilirlik Kavramı ve Algısı

İstihdam edilebilirlik, bireyin iş gücü piyasasında sürdürülebilirliğini ifade eden çok boyutlu bir kavram olarak değerlendirilmektedir [3]. Bu kavram, çalışanın iş yaşamında sürekliliğini sağlayan yetkinlikler bütünü şeklinde tanımlanmaktadır [1], [2]. İstihdam edilebilirlik; işe giriş becerisi, sürekli gelişim ihtiyacı ve tatmin edici bir işe sahip olma yeterliliği gibi çeşitli açılardan ele alınmaktadır [31], [32]. Ayrıca, değişime açık, kendini geliştirebilen ve yeniden iş bulabilen bireylerin istihdam edilebilir olarak kabul edildiği ifade edilmektedir [33].

İstihdam edilebilirlik becerileri, temel beceriler, üst düzey düşünme becerileri ve duyuşsal beceriler olmak üzere üç başlık altında sınıflandırılmaktadır [34]. Yirmi birinci yüzyıl becerileri kapsamında iletişim, problem çözme, medya okuryazarlığı, liderlik ve üretkenlik gibi yetkinliklerin ön plana çıktığı belirtilmektedir [35]. Bu becerilerin, özellikle bilgi okuryazarlığı ile örtüştüğü vurgulanmaktadır [2].

Literatürde istihdam edilebilirlik, nesnel ve öznel olmak üzere iki boyutta incelenmektedir [8], [9]. Nesnel boyut, bireyin eğitim düzeyi, mesleki tecrübe ve iş deneyimleri gibi dışsal göstergelere dayanmaktadır. Öznel boyut ise bireyin kendisini istihdam edilebilir olarak değerlendirmesiyle ilişkilendirilmektedir. Bu değerlendirmelerin, bireyin sahip olduğu becerilere yönelik içsel algılarını yansıttığı ifade edilmektedir [6]. Ayrıca, söz konusu algının bireyin kariyeri üzerindeki kontrol hissiyle yakından ilişkili olduğu belirtilmektedir [7].

İstihdam edilebilirlik algısını etkileyen başlıca etmenler arasında bireysel nitelikler, iş gücü piyasasına ilişkin bilgi düzeyi ve insan kaynakları politikaları yer almaktadır [31]. Bu etmenler; uyum yeteneği (belirsizlikle başa çıkma kapasitesi), kariyer kimliği (hedef belirleme ve yön tayini becerisi) ile sosyal ve beşerî sermaye (bilgi, beceri ve deneyim birikimi) başlıkları altında sınıflandırılmaktadır [36]. Sosyal ağların, istihdamda süreklilik sağlamada ve psikolojik destek sunmada önemli bir rol üstlendiği vurgulanmaktadır [37]. Eğitim düzeyi ile istihdam edilebilirlik algısı arasındaki ilişkinin çeşitli ampirik araştırmalarla ortaya konduğu ifade edilmektedir [38]. Öğrencilerin okul döneminde edindikleri iş deneyimlerinin bu algı üzerinde olumlu etkiler yarattığı da belirtilmektedir [39]. Ayrıca, psikolojik sermaye ile istihdam edilebilirlik algısı arasında pozitif yönlü bir ilişkinin bulunduğu çeşitli çalışmalarla gösterilmiştir [40].

İş gücü piyasasına ilişkin bilgi düzeyinin, bireylerin kariyer planlamasında rehberlik edici bir işleve sahip olduğu ifade edilmektedir. Algılanan istihdam edilebilirlik ile iş güvencesizliği arasında ters yönlü bir ilişki bulunduğu belirlenmiştir [41]. Bununla birlikte, bireylerin yalnızca sürekli işlere odaklanmalarının istihdam edilebilirlik algısını olumsuz etkileyebileceği vurgulanmaktadır [42].

III. SONUÇLAR

İstihdam edilebilirlik algısı, bireylerin iş yaşamına ve kariyer gelişimlerine ilişkin öznel değerlendirmelerini içeren, çok boyutlu ve dinamik bir kavramsal yapı olarak değerlendirilmektedir. Bu algının, yalnızca bireyin iş bulma kapasitesini değil, aynı zamanda mevcut işini sürdürebilme, yeni fırsatlara uyum sağlayabilme ve belirsizlik koşullarına karşı direnç gösterebilme yeteneğini de kapsadığı belirtilmektedir [6], [7]. Literatürde elde edilen bulgular, yüksek düzeyde istihdam edilebilirlik algısına sahip bireylerin iş doyumu, örgütsel bağlılık, motivasyon ve üretkenlik düzeylerinin daha yüksek olduğunu göstermektedir [8].

Bu bağlamda, çalışan performansının iyileştirilmesi ve örgütsel verimliliğin artırılması amacıyla bireylerin istihdam edilebilirlik algılarının geliştirilmesinin önemli bir unsur olarak değerlendirildiği ifade edilmektedir. Söz konusu algıya sahip bireylerin kriz dönemlerinde, iş değişikliklerinde ve örgütsel dönüşüm süreçlerinde daha esnek ve uyumlu davranışlar sergiledikleri belirtilmektedir [10]. Bu durumun, bireysel düzeyde verimlilik artışı ve örgütsel düzeyde başarıya katkı sağladığı vurgulanmaktadır. İnsan kaynakları birimleri tarafından sunulan eğitim olanakları, kariyer gelişim planları, psikolojik sermayeyi destekleyen uygulamalar ve örgütsel esneklik stratejileri aracılığıyla bu algının güçlendirilmesinin mümkün olduğu bildirilmektedir.

Bu çalışmada, istihdam edilebilirlik algısı ile çalışan performansı arasındaki ilişki kuramsal düzeyde ele alınmakta ve söz konusu ilişkinin doğasına yönelik derinlemesine bir analiz sunulması amaçlanmaktadır. Literatürde her iki kavram ayrıntılı biçimde incelenmiş olsa da, aralarındaki nedensel ilişkinin sınırlı sayıda araştırma kapsamında değerlendirildiği görülmektedir. Bu nedenle, çalışmanın özgün katkısının, bireyin iş yaşamına yönelik öznel algılarının yalnızca tutum ve davranışlar üzerinde değil, aynı zamanda performans çıktıları ve örgütsel başarı üzerinde de etkili olduğunu ortaya koymak olduğu ifade edilmektedir.

Bununla birlikte, çalışmanın bazı sınırlılıklarının bulunduğu belirtilmektedir. İstihdam edilebilirlik algısı öznel bir yapı arz ettiğinden, bireyler arasında önemli farklılıklar gözlemlenebilmektedir. Ayrıca, kültürel arka plan, sektörel yapı, eğitim düzeyi ve yaş gibi değişkenlerin istihdam edilebilirlik algısı ile performans arasındaki ilişki üzerindeki etkilerinin bu çalışmanın kapsamı dışında tutulduğu vurgulanmaktadır. Gelecek araştırmalarda, bu ilişkinin farklı bağlamlarda ve örneklemelerde karşılaştırmalı biçimde ele alınmasının, daha bütüncül ve genellenebilir sonuçlara ulaşılmasına katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir.

Sonuç olarak, istihdam edilebilirlik algısı yüksek olan bireylerin yalnızca bireysel başarılarının artmadığı, aynı zamanda bağlı bulundukları örgütlere stratejik katkılar sağladıkları da gözlemlenmektedir. Bu nedenle, işverenler tarafından çalışanlara yalnızca istihdam olanağı sunulmasıyla yetinilmeyip, iş yaşamlarında sürdürülebilir başarılar elde edebilmeleri için gerekli desteğin sağlanması gerektiği vurgulanmaktadır. Bireylerin kendi potansiyellerini fark etmeleri ve bu potansiyeli işe dönüştürebilmeleri, istihdam edilebilirliğin anlam kazanmasına katkı sağlayacaktır. Bu doğrultuda, bireylerin istihdam edilebilirliklerine ilişkin öznel algılarının güçlendirilmesinin, bireysel, örgütsel ve toplumsal düzeyde olumlu ve sürdürülebilir etkiler yaratma potansiyeline sahip olduğu değerlendirilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Ünal, F. (2003). İstihdam edilebilirlik becerileri ve bu becerilerin kazandırılmasına yönelik stratejiler. *Kurgu Dergisi*, (20), 281-298.
- [2] Yıldırım, T. (2019). Öğrencilerin istihdam edilebilirlik bilgi okuryazarlığı becerileri: Hacettepe Üniversitesi örneği [Doktora tezi]. Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- [3] Thijssen, J. G. L., Van der Heijden, B. I., & Rocco, T. S. (2008). Toward the employability-link model: Current employment transition to future employment perspectives. *Human Resource Development Review*, 7(2), 165-183.
- [4] Aytuğ, H. K. (2011). Küresel rekabetin işletmelerin üretim ve istihdam yapısı üzerindeki etkileri. *Akademik Yaklaşımlar Dergisi*, 2(2), 45-77.
- [5] Öktem, A. Ö. (2015). Kariyer değerleri ve algılanan istihdam edilebilirlik. İzmir: Kitap Ana Basım Yayın.
- [6] Rothwell, A., Herbert, I., & Rothwell, F. (2008). Self-perceived employability: Construction and initial validation of a scale for university students. *Journal of Vocational Behavior*, 73(1), 1-12.

- [7] De Cuyper, N., Van der Heijden, B., & De Witte, H. (2011). Associations between perceived employability, employee well-being, and its contribution to organizational success: A matter of psychological contracts? *The International Journal of Human Resource Management*, 22(7), 1486–1503.
- [8] Vanhercke, D., De Cuyper, N., Peeters, E., & De Witte, H. (2014). Defining perceived employability: A psychological approach. *Personnel Review*, 43(4), 592–605.
- [9] Broeck, V., De Cuyper, N., Baillien, E., Vanbelle, E., Vanhercke, D., & De Witte, H. (2014). Perception of organization's value support and perceived employability: Insights from self-determination theory. *The International Journal of Human Resource Management*, 25(13), 1904–1918.
- [10] De Cuyper, N., Bernhard-Oettel, C., Berntson, E., De Witte, H., & Alarco, B. (2008). Employability and employees' well-being: Mediation by job insecurity. *Applied Psychology: An International Review*, 57(3), 488–509.
- [11] Türk Dil Kurumu. (2025). Türk Dil Kurumu Güncel Türkçe Sözlük. <http://www.tdk.gov.tr>
- [12] Barutçugil, İ. (2002). Performans yönetimi. İstanbul: Kariyer Yayıncılık.
- [13] Ayverdi, İ. (2010). Misalli Büyük Türkçe Sözlüğü. İstanbul: Kubbealtı Yayınları.
- [14] Yılmaz, G. (2019). Presenteeism ve iş stresinin çalışan performansına etkisi: Bir uygulama örneği [Yüksek lisans tezi]. Trakya Üniversitesi İşletme Bölümü.
- [15] Sabuncuoğlu, Z. (2005). İnsan kaynakları yönetimi: Uygulama örnekleriyle. İstanbul: Furkan Ofset.
- [16] Korkut, C. C. (2017). A meta-analysis on the relationship between job satisfaction and job performance [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. İstanbul Bilgi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- [17] Bağcı, Z. (2014). Çalışanların iş doyumunun görev ve bağlamsal performansları üzerindeki etkisi. *Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 24, 58–72.
- [18] Uyargil, C. (2013). İnsan kaynakları yönetimi. İstanbul: Beta Yayıncılık.
- [19] Borman, W. C., & Motowidlo, S. J. (1997). Task performance and contextual performance: The meaning for personnel selection research. *Human Performance*, 10, 99–109.
- [20] Ünlü, O., & Yürür, Ş. (2011). Duygusal emek, duygusal tükenme ve görev/baglamsal performans ilişkisi: Yalova'da hizmet sektörü çalışanları ile bir araştırma. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 37, 183–207.
- [21] Akçay, V. H., & Bilgin, K. U. (2016). Kamu performans yönetimine katkısı açısından performans yönetimi. *Kastamonu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 12, 155–174.
- [22] Akyol, S. (2015). Strateji, liderlik ve çalışan performansı [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. Beykent Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- [23] Gürbüz, S., & Şeşen, H. (2016). Yönetimde güncel konular. İstanbul: Beta Basım A.Ş.
- [24] Genç, N. (2012). Yönetim ve organizasyon: Çağdaş sistemler ve yaklaşımlar (4. Baskı). Ankara: Seçkin Yayıncılık.
- [25] Ögüt, A. (2006). Yönetim ve organizasyon. Konya: Çizgi Kitabevi.
- [26] Doğu, C. (2019). Cinsiyetin çalışan performansına etkisi [Yüksek lisans tezi]. Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- [27] Kayar, S. (2015). Örgüt iklimi ve örgütsel vatandaşlığın çalışan performansına etkisi [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. Beykent Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- [28] Demir, H., & Tarhan, O. (2009). Teknoloji, örgüt yapısı ve performans arasındaki ilişkiler üzerine bir araştırma. *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 10(1), 57–72.
- [29] Altunoğlu, A., & Doğan, B. (2014). Bilgi yönetimi, çevre, teknoloji ve örgütsel performans ilişkileri. *İnternet Uygulamaları ve Yönetimi Dergisi*, 5(1), 21–37.
- [30] Elma, C., & Demir, K. (2014). Yönetimde çağdaş yaklaşımlar: Uygulamalar ve sorunlar (Genişletilmiş 4. Baskı). Ankara: Anı Yayıncılık.
- [31] Hillage, J., & Pollard, E. (1998). Employability: Developing a framework for policy analysis (Research Report No. 85). Institute for Employment Studies.
- [32] Harvey, L. (1999). Employability: Developing the relationship between higher education and employment. *Education + Training*, 41(4), 131–144.
- [33] Erdut, A. (2002). İstihdam ve istihdam edilebilirlik. *Mercek Dergisi*, 7(27), 80-91.
- [34] Cotton, K. (1993). Developing employability skills. Northwest Regional Educational Laboratory.
- [35] Biallik, M., & Fadel, C. (2015). Skills for the 21st century: What should students learn? Center for Curriculum Redesign.
- [36] Fugate, M., Kinicki, A. J., & Ashforth, B. E. (2004). Employability: A psycho-social construct, its dimensions, and applications. *Journal of Vocational Behavior*, 65, 14–38.
- [37] Seçer, B. (2007). Kariyer sermayesi ve istihdam edilebilirliğin iş güvencesizliği üzerindeki etkisi. [Doktora Tezi]. Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- [38] Wittekind, A., Raeder, S., & Grote, G. (2010). A longitudinal study of determinants of perceived employability. *Journal of Organizational Behavior*, 31(4), 566–586.
- [39] Qenani, E., MacDougall, N., & Sexton, C. (2014). An empirical study of self-perceived employability: Improving the prospects for student employment success in an uncertain environment. *Active Learning in Higher Education*, 15(3), 199–213.
- [40] Chen, D., & Lim, V. (2012). Strength in adversity: The influence of psychological capital on job search. *Journal of Organizational Behavior*, 33, 811–839.
- [41] De Cuyper, N., Makikangas, A., Kinnunen, U., Mauno, S., & De Witte, H. (2012). Cross-lagged associations between perceived external employability, job insecurity, and exhaustion: Testing gain and loss spirals. *Journal of Organizational Behavior*, 33(6), 770–788.

- [42] Kirves, K., Kinnunen, U., & De Cuyper, N. (2014). Contract type, perceived mobility and optimism as antecedents of perceived employability. *Economic and Industrial Democracy*, 35(3), 435–453.

İstihdam Edilebilirlik Algısı ile İçsel Motivasyon Arasındaki İlişki: Kavramsal ve Kuramsal Bir Değerlendirme ¹

Çiğdem Kaya ², İsmail Bekci ^{3*} ve Ali Şimşek ⁴

² İşletme Anabilim Dalı / Sosyal Bilimler Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Türkiye

³ İşletme Bölümü / İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Türkiye

⁴ Yönetim ve Organizasyon Bölümü / Isparta Meslek Yüksekokulu, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Türkiye

*(ismailbekci@sdu.edu.tr)

Özet – Bu çalışmada, bireylerin iş yaşamındaki sürdürülebilir başarılarını etkileyen iki temel psikolojik unsur olan istihdam edilebilirlik algısı ile içsel motivasyon arasındaki ilişki kuramsal düzeyde incelenmiştir. Küreselleşme ve dijitalleşmenin şekillendirdiği çağdaş işgücü piyasasında yalnızca teknik becerilerin değil, bireyin öznel algılamalarının ve içsel güdülerinin de iş başarısı üzerinde belirleyici olduğu ortaya konulmuştur. Çalışmada, istihdam edilebilirlik kavramının tarihsel gelişimi, algısal boyutu ve etkileyen faktörleri ile içsel motivasyonun tanımı, kaynakları ve kuramsal temelleri ayrıntılı biçimde incelenmiştir. İçsel motivasyonun Öz-Belirleme Kuramı ve Akış Kuramı gibi teoriler çerçevesinde değerlendirilmesiyle, bireyin yeterlilik, özerklik ve ilişkisellik ihtiyaçlarının istihdam edilebilirlik üzerindeki etkisi vurgulanmıştır. Araştırmada, istihdam edilebilirlik algısının yalnızca piyasa temelli bir değerlendirme olmadığı; bunun aynı zamanda bireyin psikolojik sermayesi, öznel değerlendirmeleri ve anlam üretme kapasitesiyle şekillendiği ifade edilmiştir. Ayrıca, içsel motivasyonun örgütsel bağlılık, yaratıcılık ve iş tatmini gibi çıktılar üzerindeki belirleyici rolü tartışılmıştır. Çalışmada, bireylerin değişen iş koşullarına uyum sağlamaları ve kariyer gelişimlerini sürdürebilmeleri için içsel motivasyonun desteklenmesi gerektiği savunulmakta ve örgütler ile eğitim sistemlerine yönelik uygulama önerileri sunulmaktadır. Sonuç olarak, istihdam edilebilirlik ile içsel motivasyonun bütüncül bir yaklaşımla değerlendirilmesinin, bireysel ve örgütsel başarı açısından stratejik öneme sahip olduğu değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler – İstihdam Edilebilirlik Algısı, İçsel Motivasyon, Öz-Belirleme Kuramı, İş Yaşamı, Psikolojik Sermaye.

¹ Bu çalışma Çiğdem Erk'in "İçsel Motivasyon ve Çalışan Performansının İstihdam Edilebilirlik Algısına Etkisi: Muhasebe Meslek Mensupları Üzerine Bir Araştırma" adlı yayınlanmış yüksek lisans tezinden türetilmiştir.

I. GİRİŞ

Küreselleşme, günümüzde hem destekçileri hem de eleştirmenleri tarafından yoğun şekilde tartışılmakta ve ülkeler arasındaki sınırların belirginliğinin azalmasına yol açan önemli bir olgu olarak değerlendirilmektedir. Bu süreç, dünya genelinde toplumsal ve ekonomik ilişkilerde köklü dönüşümlere yol açmış ve istihdam alanında da temel değişikliklerin yaşanmasına neden olmuştur [1]. İş yapısında, ücret ve terfi sistemlerinde ile çalışma koşullarında önemli farklılıkların ortaya çıktığı görülmektedir. Bilgi çağının getirdiği yeniliklerle, bireylerin işgücü piyasasındaki istihdam edilebilirliğinin ve bu istihdamın sürekliliğinin büyük ölçüde etkilendiği değerlendirilmektedir. Çalışma hayatında yaşanan değişimlerle birlikte, geçmişte işveren tarafından sunulan yaşam boyu istihdam garantisinin yerini daha bireyselleşmiş ve müzakere edilebilir sözleşmelerin aldığı görülmektedir. Bu yeni yapılar, bireyin örgütte değerli olarak kabul edilen niteliklere ve işgücü piyasasında aranan yeteneklere sahip olmasına bağlı olarak şekillenmektedir [2]. Bireylerin, kendi potansiyellerini değerlendirerek işlerini sürdürebilmek ya da yeni bir iş bulabilmek için çözüm arayışına girdikleri görülmektedir. Bu öznel değerlendirmelerin, bireyin istihdam edilebilirlik algısını şekillendirdiği ifade edilmektedir. İstihdam edilebilirlik algısının, bireyin sahip olduğu becerilere göre bir işe sahip olabilme konusundaki öznel değerlendirmelerinden oluştuğu ve bu yönüyle istihdam edilebilirlik kavramından ayrıldığı belirtilmektedir [3], [4].

Bu çalışmada, istihdam edilebilirlik algısı ile içsel motivasyon arasındaki ilişkinin kavramsal ve kuramsal açıdan incelenmesi ve bu iki kavramın iş yaşamındaki rolünün ortaya konulması amaçlanmaktadır. Günümüzün hızla değişen işgücü piyasasında, bireylerin sürdürülebilir kariyer başarısının yalnızca bilgi ve beceri düzeyine değil, aynı zamanda içsel motivasyonlarına ve kendi istihdam edilebilirlik algılarına da bağlı olduğu değerlendirilmektedir. Bu çalışmanın hem bireysel hem de örgütsel düzeyde iş başarısı ve uyum açısından bu iki unsurun önemini ortaya koyması bakımından katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Bu kapsamda, çalışmanın araştırma sorusu “İstihdam edilebilirlik algısı ile içsel motivasyon arasında nasıl bir ilişki bulunmaktadır ve bu ilişki bireylerin iş yaşamındaki başarısını ve uyumunu nasıl etkilemektedir?” olarak belirlenmiştir.

II. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

A. İstihdam Edilebilirlik: Kavramsal ve Tarihsel Çerçeve

İstihdam edilebilirliğin yalnızca bireysel yeteneklerle değil, çevresel ve örgütsel dinamiklerle de şekillenen çok boyutlu bir kavram olduğu ifade edilmektedir. Forrier ve Sels tarafından istihdam edilebilirliğin, çalışanın belirli bir sektörde çeşitli fonksiyonları yerine getirme ve iş elde etme yeteneği olarak tanımlandığı belirtilmektedir [5]. Sander ve De Grip tarafından ise bu kavramın, bireyin çalışma çevresindeki değişimlere uyum sağlayabilmesi ve proaktif bir yaklaşım sergilemesi olarak açıklandığı ifade edilmektedir [6]. Kuzgun tarafından ise istihdam edilebilirliğin, işgücü piyasasında tutunabilmek için bilgi, beceri, tutum ve davranışlardaki gelişimle ilişkilendirildiği belirtilmektedir [7]. 1970’lerden itibaren ortaya çıkan ‘esneklik’ odaklı yeni üretim ve iş organizasyonlarının, ilk olarak gelişmiş ülkelerde ve ardından gelişmekte olan ülkelere yayıldığı görülmektedir. Bu organizasyonların, işverenler açısından teknolojik değişimlere uyum sağlama, maliyetlerin düşürülmesi ve işgücü talebinin artışı gibi avantajlar sunduğu ifade edilmektedir [8]. Ancak, bu gelişmelerin aynı zamanda iş güvencesizliğinde artışa yol açtığı, teknolojik ilerlemeyle birlikte işgücü talebinin azaldığı ve geçici ya da yarı zamanlı çalışma gibi esnek istihdam biçimlerinin yaygınlaştığı belirtilmektedir [9], [10]. 21. yüzyılda, öğrenme, bilgi, teknoloji ve medya okuryazarlığı ile yaşam ve mesleki becerilerin, işverenlerin öncelikli beklentileri arasında yer aldığı görülmektedir. Bilgi okuryazarlığının, yeni bilgiye erişim ve etkin kullanım açısından istihdam edilebilirliğin temelini oluşturduğu değerlendirilmektedir [11].

B. İstihdam Edilebilirlik Algısı ve Etkileyen Faktörler

İstihdam edilebilirlik algısının, bireyin mevcut becerileriyle bir işe sahip olma kapasitesine ilişkin öznel değerlendirmelerini ifade ettiği belirtilmektedir [4]. Bu algının, bireyin iş arama eğilimi, yükselme çabası ve kariyer gelişimi üzerinde doğrudan etkili olduğu ifade edilmektedir [12]. Eğitim düzeyi, iş tecrübesi, psikolojik sermaye ve demografik özellikler gibi unsurların, istihdam edilebilirlik algısı üzerinde

belirleyici rol oynadığı bildirilmektedir. Bu nedenle, bireylerin rekabetçi işgücü piyasasında sürdürülebilir istihdam sağlayabilmeleri için kendilerini sürekli geliştirmelerinin gerekli olduğu vurgulanmaktadır [13]. Örgütler tarafından sunulan eğitim, gelişim ve ödüllendirme politikalarının, çalışanların istihdam edilebilirlik algısı ile işletmeye bağlılığı üzerinde önemli etkiye sahip olduğu ifade edilmektedir. Ancak, istihdam edilebilirlik algısı yüksek bireylerde işletmeye bağlılıkta azalma yaşanabileceği ve bu bireylerin işverenden daha yüksek beklentiler içinde olabileceği belirtilmektedir [14]. Çalışan performansı, ruhsal iyi oluş ve istihdam edilebilirlik arasında pozitif bir ilişki bulunduğu bildirilmektedir [15]–[17]. İstihdam edilebilirlik algısı yüksek bireylerin, işlerine daha fazla odaklandığı ve yüksek verimlilik gösterdiği belirtilmektedir [15]. Ayrıca, mesleki tükenmişlik düzeyinin de istihdam edilebilirlik algısından etkilendiği, yüksek algıya sahip çalışanların ise tükenmişlik yaşama riskinin daha düşük olduğu bildirilmektedir [18].

C. İçsel Motivasyon: Tanım ve Önemi

İçsel motivasyonun, bireyin kendi iyiliği, tatmini veya öğrenme isteği için bir faaliyeti sürdürme arzusu olduğu belirtilmektedir [19], [20]. Robbins tarafından motivasyonun, bireyin gereksinimlerini karşılamak amacıyla örgütsel hedeflere uygun şekilde çaba göstermesi olarak tanımlandığı ifade edilmektedir [21]. Motivasyonun, bireyin tutum ve davranışlarını şekillendiren temel bir güç olduğu belirtilmektedir [22]. Örgütler açısından insan kaynağının verimli ve etkin yönetimi için motivasyonun kritik öneme sahip olduğu vurgulanmaktadır. Bireyin içsel motivasyonunun yüksek olmasının, yalnızca iş doyumunu ve verimlilik değil, aynı zamanda bireysel iyi oluş ve psikolojik dayanıklılık açısından da olumlu sonuçlar doğurduğu bildirilmektedir [23]–[25]. İçsel motivasyonu yüksek çalışanların, dışsal zorluklara karşı daha dirençli olduğu ve değişim süreçlerine daha uyumlu davranışlar sergilediği bildirilmektedir.

D. İçsel Motivasyonun Kuramsal Temelleri ve Etmenler

İçsel motivasyonun, başarıma/elde etme, bağlılık, anlama ve savunma olmak üzere dört temel güdüye dayandığı belirtilmektedir [26], [27]. Başarıma güdüsünün, rekabet ve başarı isteğiyle ilişkili olduğu; bağlılık güdüsünün ise bireyin sosyal gruplara ve örgütüne aidiyet geliştirme ihtiyacını yansıttığı ifade edilmektedir. Anlama güdüsünün, kişinin çevresini ve işini anlamlandırma isteğiyle ilişkili olduğu; savunma güdüsünün ise olumsuz koşullarda kendini koruma ve güvenlik arayışını ifade ettiği belirtilmektedir.

Deci ve Ryan tarafından geliştirilen Öz-Belirleme Kuramı'nda, bireyin yeterlilik, ilişki ve özerklik gibi temel psikolojik ihtiyaçlarının tatminiyle ortaya çıkan içsel motivasyona odaklanıldığı ifade edilmektedir [28]. Bireyin, kendi kararlarını verebildiği ve seçtiği eylemlere odaklandığı ölçüde içsel olarak motive olduğu belirtilmektedir [29], [30]. Bu kuramda, içsel ve dışsal motivasyonun performans, görev davranışı ve örgütsel bağlılık üzerindeki farklı etkilerinin de açıklandığı ifade edilmektedir [31], [32].

Csikszentmihalyi tarafından geliştirilen Akış Kuramı'nda, bireyin tam odaklanma ve memnuniyet duygusu yaşadığı, bilişsel ve duygusal açıdan zirveye ulaştığı bir içsel motivasyon durumunun tanımlandığı belirtilmektedir [33], [34]. Akışın, bireyin belirli bir görevde ya da faaliyette tamamen kendini bulduğu ve zamanın farkında olmadan yüksek verimlilik sergilediği bir deneyim olarak tanımlandığı ifade edilmektedir [35], [36].

E. İstihdam Edilebilirlik ile İçsel Motivasyonun Etkileşimi

Yüksek içsel motivasyona sahip çalışanların, daha az eleştiriye maruz kaldığı ve daha yaratıcı, olumlu tutumlar sergilediği belirtilmektedir [37], [38]. Sadakat, öğrenme, başarıma ve azim gibi etkenlerin, içsel motivasyonun gelişimine katkıda bulunduğu bildirilmektedir [27]. İçsel motivasyon ile bilişsel, duygusal ve davranışsal sonuçlar arasında güçlü bir ilişki bulunduğu ve yaratıcılık, örgütsel bağlılık, odaklanma ile verimlilik üzerinde doğrudan etki gösterdiği ifade edilmektedir [39]–[41].

İçsel motivasyon ile istihdam edilebilirlik arasındaki etkileşimin, bireyin sürdürülebilir iş başarısında temel rol oynadığı belirtilmektedir. Öz-Belirleme Kuramı'na göre, yeterlilik, özerklik ve ilişkisellik ihtiyaçlarının karşılanması, istihdam edilebilirlik düzeyini artırdığı bildirilmektedir [23]. İçsel motivasyonu yüksek bireylerin, değişen iş koşullarına daha kolay uyum sağladığı ve mesleki gelişime daha açık olduğu ifade edilmektedir [25]–[42]. Bu etkileşimin, psikolojik sağlamlık, örgütsel bağlılık ve kariyer gelişimi için stratejik bir temel sunduğu bildirilmektedir [13], [14].

III. SONUÇLAR

Bu çalışmada, istihdam edilebilirlik ve içsel motivasyon kavramlarının disiplinlerarası bir yaklaşımla ele alındığı ve çağdaş işgücü piyasasının gerektirdiği yeni yeterliliklerin değerlendirildiği ifade edilmektedir. Bireyin iş yaşamında sürdürülebilir başarısının yalnızca nesnel göstergelere değil, öznel değerlendirmelere ve içsel kaynaklara da dayandığı vurgulanmaktadır. İstihdam edilebilirliğin, bireyin bilgi, beceri ve yetkinlik düzeyine bağlı olarak işgücü piyasasında yer alabilme kapasitesi olarak tanımlandığı; içsel motivasyonun ise bireyin anlam üretme ve kendini gerçekleştirme kapasitesiyle ilişkili olduğu belirtilmektedir [44], [45], [23]. Bu iki kavram arasındaki karşılıklı etkileşimin, bireyin değişen iş koşullarına uyumu, iş tatmini ve kariyer başarısı üzerinde belirleyici olduğu ifade edilmektedir. Özellikle mesleki belirsizliklerin aşılmasında, içsel motivasyon düzeyinin belirleyici olduğu bildirilmektedir [25], [26].

Çalışmanın temel katkısının, istihdam edilebilirlik algısının yalnızca piyasa odaklı değerlendirmelerden ibaret olmadığını; bunun aynı zamanda bireyin öznel algılamaları, psikolojik sermayesi ve motivasyon düzeyiyle şekillendiğini ortaya koymak olduğu ifade edilmektedir [43], [42]. İçsel motivasyonun ise örgütsel yapı, liderlik anlayışı ve işin anlamlandırılması yoluyla şekillendiği bildirilmektedir [41], [23]. Bireyin mesleki kimliği, kariyer adaptasyonu, yaşam boyu öğrenme ve anlam üretme kapasitesinin hem istihdam edilebilirlik hem de içsel motivasyon açısından kritik öneme sahip olduğu belirtilmektedir. Özellikle kariyer kimliği ve sosyal sermaye gibi istihdam edilebilirlik bileşenlerinin, bireyin içsel motivasyon kaynaklarını beslediği ve psikolojik dayanıklılık ile örgütsel bağlılık üzerinde etkili olduğu ifade edilmektedir [42], [13].

Uygulamada, insan kaynakları politikalarının yalnızca teknik becerilere değil, bireyin özerklik, ilişkisellik ve yeterlilik boyutlarını da destekleyen içsel motivasyon unsurlarına odaklanmasının gerekli olduğu vurgulanmaktadır [23], [14]. Anlamlı iş tasarımları, etkili geri bildirim ve sürekli gelişim fırsatlarının, çalışanların içsel güdülerini harekete geçirerek örgütsel verimlilik ve bağlılık üzerinde olumlu etki yarattığı değerlendirilmektedir. Eğitim sistemlerinin ise yaşam boyu öğrenmeye, eleştirel düşünme ve sosyal becerilerin geliştirilmesine odaklanacak şekilde yeniden yapılandırılmasının gerekli olduğu ifade edilmektedir. 21. yüzyıl becerilerinin kazandırılmasının, bireyin istihdam edilebilirlik ve içsel motivasyon kapasitesini artıracığı belirtilmektedir [11].

Sonuç olarak, istihdam edilebilirlik ve içsel motivasyonun, bireyin iş yaşamında değer yaratma kapasitesini şekillendiren ve birbirini tamamlayan iki temel unsur olduğu vurgulanmaktadır. Bu bütüncül bakış açısının, yalnızca bireysel kariyer gelişimini değil, örgütsel başarı ve toplumsal refahı da olumlu yönde etkileyeceği değerlendirilmektedir. Sürdürülebilir iş yaşamı için, bilgi ve beceri kadar, bireyin neyi neden yaptığı yani içsel motivasyonunun da stratejik öneme sahip olduğu değerlendirilmektedir. Gelecekte, istihdam edilebilirlik ve içsel motivasyonun farklı sektörler, yaş grupları ve sosyoekonomik düzeylerde ampirik olarak incelenmesinin ve boylamsal ile karma yöntemli araştırmalarla desteklenmesinin önerildiği belirtilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Sönmez, P. (2006). Küreselleşme, Avrupa Birliği ve istihdam: Çalışma İlişkilerinde Yaşanan Dönüşüm. Ankara Avrupa Çalışmaları Dergisi, 3(5), 177-198.
- [2] Özçelik, G., Aybas, M., & Uyargil, C. (2019). Kişiyi Özgü Sözleşmelerin Kariyer Başarısına Etkisinde Algılanan İstihdam Edilebilirliğin Aracı Rolü. Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 74(2), 581 - 599.
- [3] De Cuyper, N., Mauno, S., Kinnunen, U., & Makikangas, A. (2011). The role of job resources in the relation between perceived employability and turnover intention: A prospective two-sample study. Journal Of Vocational Behaviour, 78, 253-263.
- [4] Rothwell, A., Herbert, I., & Rothwell, F. (2008). Self-perceived employability: Construction and initial validation of a scale for university students. Journal of Vocational Behavior, 73(1), 1-12.
- [5] Forrier, A., & Sels, L. (2003). The Concept Employability: A Complex Mosaic. International Journal of Human Resource Development and Management, 3, 103-124.
- [6] De Grip, A., Van Loo, J., & Sanders, J. (2004). The Industry Employability Index: Taking Account of Supply and Demand Characteristics. International Labour Review, 143(3) 211-233.

- [7] Kuzgun, İ. (2013). Türkiye'de Eğitimli Genç İşsizliğin Çözümünde Bir Alternatif Olarak Staj: Özellikleri ve Sosyal Boyutu, Aktif İstihdam Politikaları. Toprak İşveren, Ankara.
- [8] Aytuğ, H. K. (2011). Küresel Rekabetin İşletmelerin Üretim ve İstihdam Yapısı Üzerindeki Etkileri. Akademik Yaklaşımlar Dergisi, 2(2), 45 - 77.
- [9] Özgür Öktem, A. (2015). Kariyer Değerleri ve Algılanan İstihdam Edilebilirlik. İzmir: Kitap Ana Basım Yayın Dağıtım Bilişim.
- [10] Esen, K. (2018). İş Güvencesizliği ve Başa Çıkma Stratejilerinin Çalışanların Demografik Özellikleri Açısından İncelenmesi. Akdeniz Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Antalya.
- [11] Goldstein, S., & Whitworth, A. (2015). Determining the value of information literacy for employers. European Conference on Information Literacy, ECIL 2015, S. Kurbanoğlu (Ed.), 70–79.
- [12] Berglund, T., & Wallinder, Y. (2015). Perceived employability in difficult economic times: The significance of education systems and labour market policies. European Societies, 17(5), 674-679.
- [13] Clarke, M. (2009). Plodders, pragmatists, visionaries and opportunists: Career patterns and employability. Career Development International, 14(1), 8-28.
- [14] De Vos, A., De Stobbeleir, K., & Meganck, A. (2009). The relationship between career-related antecedents and graduates' anticipatory psychological contracts. Journal of Business and Psychology, 24(3), 289-298.
- [15] Kinnunen, U., Makikangas, A., Mauno, S., Siponen, K., & Natti, J. (2011). Perceived employability investigating outcomes among involuntary and voluntary temporary employees compared to permanent employees. Career Development International, 16(2), 140-160.
- [16] Praskova, A., Creed, P. A., & Hood, M. (2015). Self-regulatory processes mediating between career calling and perceived employability and life satisfaction in emerging adults. Journal of Career Development, 42(2), 86-101.
- [17] Van der Heijde, C. M., & Van der Heijden, B. (2006). Competence-based and multi-dimensional operationalization and measurement of employability. Human Resource Management, 45, 449–476.
- [18] Geurts, S. A., Schaufeli, W. B., & Rutte, C. G. (1999). Absenteeism, turnover intention and inequity in the employment relationship. Work and Stress, 13(3), 253-267.
- [19] Kuvaas, B., Buch, R., Weibel, A., Dysvik, A., & Nerstad, C. G. (2017). Do intrinsic and extrinsic motivation relate differently to employee outcomes? Journal of Economic Psychology, 61, 244–258.
- [20] Schumacher, A. (2012). The characteristics influencing the experience of intrinsic motivation in Chinese expatriate managers. PhD Thesis, Capella University, Social and Behavioral Sciences, Michigan.
- [21] Robbins, S. P. (1993). Organizational Behavior (6. Baskı). Englewood Cliffs: Prentice-Hall.
- [22] Lundy, O., & Cowling, A. (1996). Strategic human resource strategy. London: Routledge Publishing.
- [23] Deci, E., & Ryan, R. M. (2000). The "what" and "why" of goal pursuits: Human needs and the self-determination of behavior. Psychological Inquiry, 11(4), 227-268.
- [24] Yılmaz, H., & Huyugüzel Çavaş, P. (2007). Fen öğrenimine yönelik motivasyon ölçeğinin geçerlik ve güvenilirlik çalışması. İlköğretim Online, 6(3), 430-440.
- [25] Gürdoğan, A. (2013). Meslek yüksekokulu öğrencilerinin eğitimde motivasyon düzeylerinin ölçülmesi: Ortaca Meslek Yüksekokulu örneği. Sosyal ve Beşeri Bilimler Araştırmaları Dergisi, 28, 149-166.
- [26] Tünay, S. (2019). Örgütsel sizinmin yönetici koçluk davranışı ile içsel motivasyon ilişkisine etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi, İstanbul.
- [27] Nohria, N. G. (2008). Employee motivation: A powerful new model. Harvard Business Review, 78-84.
- [28] Deci, E. L., & Ryan, R. M. (1985). Intrinsic motivation and self-determination in human behavior. New York: Plenum.
- [29] Yılmaz, S. (2018). Üniversite öğrencilerinde motivasyon ölçeğinin geçerlik ve güvenilirlik çalışması. Adana Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 1(1), 1-18.
- [30] Park, S. M., & Word, J. (2012). Driven to service: Intrinsic and extrinsic motivation for public and nonprofit managers. Public Personnel Management, 41(4), 705–734.
- [31] Kocayörük, E. (2012). Öz-belirleme kuramı açısından ergenlerin anne baba algısı ile duyuşsal iyi oluşları arasındaki ilişki. Türk Psikolojik Danışma ve Rehberlik Dergisi, 4(37), 24-37.
- [32] Zohar, D. (2015). Testing extrinsic and intrinsic motivation as explanatory variables for the safety climate–safety performance relationship among long-haul truck drivers. Transportation Research Part F, 30, 84–96.
- [33] Turan, N. (2019). Akış deneyimi üzerine genel bir literatür taraması. Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 37, 181-199.
- [34] Kefor, T. (2015). Arts students in flow: An interpretative phenomenological analysis. Doctoral Thesis, College of Professional Studies Northeastern University, Boston.
- [35] Quinn, R. W. (2005). Flow in knowledge work: High performance experience in the design of national security technology. Administrative Science Quarterly, 50(4), 610–641.
- [36] Bernard, R. (2009). Music making, transcendence, flow, and music education. International Journal of Education & the Arts, 10(14), 1-22.
- [37] Pullins, E. B. (2001). An exploratory investigation of the relationship of sales force compensation and intrinsic motivation. Industrial Marketing Management, 30(5), 403-413.
- [38] Diener, E. (2009). The science of well-being. Social Indicators Research Series, 37, 75-102.
- [39] Kara, A. (2008). İlköğretim birinci kademede eğitimde motivasyon ölçeğinin Türkçeye uyarlanması. Ege Eğitim Dergisi, 9(2), 59-78.

- [40] Ehtiyar, V. R., & Ersoy, A. (2017). İş görenlerin işten ayrılma niyetlerini etkileyen içsel ve dışsal motivasyon faktörleri: Antalya ili örneği. Akademik Bakış Dergisi Uluslararası Hakemli Sosyal Bilimler E-Dergisi, 61, 441-455.
- [41] Yücel Batmaz, N., & Gürer, A. (2016). Dönüştürücü liderliğin çalışanların içsel motivasyonu üzerindeki etkisi: Yerel yönetimlerde karşılaştırmalı bir araştırma. Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 21(2), 477-492.
- [42] Fugate, M., Kinicki, A. J., & Ashforth, B. E. (2004). Employability: A psycho-social construct, its dimensions, and applications. Journal of Vocational Behavior, 65(1), 14-38.
- [43] Vanhercke, D., Cuyper, N., Peeter, E., & Witte, H. D. (2014). Defining perceived employability: A psychological approach. Personnel Review, 43(4), 2014.
- [44] Thijssen, O. G. L., & Johannes, B. I. (2008). Toward the employability-link model: Current employment transition to future employment perspectives. Human Resource Development Review, 7(2), 165-183.
- [45] Gerçek, M., & Elmas Atay, S. (2017). Rothwell ve Arnold'ın Algılanan İstihdam Edilebilirlik Ölçeği'nin Türkçe'ye uyarlama, geçerlilik ve güvenilirlik çalışması. Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 54, 91-103.

The objectives and goals of the Holy Quran in permitting and prohibiting foods and drinks: an analytical study

Essam Fuoad Rasheed¹, Mraiam Ibrahim AL-Karaawi ^{*2} and Kamal Nadhim Magrood ³

^{1,3} The General Directorate of Education in Najaf Governorate. Najaf, Iraq.

² School of Administration and Economics, University of kufa, Najaf, Iraq.

^{*}(mariama.hamood@uokufa.edu.iq) Email of the corresponding author

Abstract –The research aims to highlight the legislative and moral goals and objectives of permitting and prohibiting foods and drinks in the Holy Quran, which were absent from the verses of foods and drinks, as scholars focused their attention on researching the rulings and etiquettes related to foods and drinks, and neglected to state the legislative and moral goals and objectives included in these verses, which led to a significant negative impact on Muslims' interaction with the verses of foods and drinks in the religious and economic aspects of their lives. This is what made the researcher seek to deduce the legislative and moral goals and objectives of permitting and prohibiting foods and drinks; to contribute to helping Muslims and Westerners gain a deeper understanding of the goals and objectives behind these legislations, and to highlight the balance between legislative and moral goals and objectives according to the controls and rules of Islamic law. The researcher followed the analytical approach to deduce the objectives and goals from a fundamentalist perspective. The researcher reached several results, the most important of which is deducing the legislative and moral objectives and goals from the prohibition and permissibility of foods and drinks. He demonstrated the beauty of legislative taste in preserving human life, unlike positive laws. Clarifying the general aspect and the necessity of abandonment, necessity, commitment and detail in the verses related to foods is considered one of the most important basic pillars for deducing the objectives and goals.

Keywords –Holy Quran; Permitting; Prohibiting; Foods; Drinks.

I. INTRODUCTION

This The Qur'an has focused on goals and objectives. Some of the objectives of the Qur'anic verses are clear, such as the Almighty's saying: in Surat (Al-Isra:23)

The purpose of the verse is clear, which is: the obligation of good speech. Some of the objectives and goals came by way of indication and emphasis, such as the Almighty's saying: in Surt (Al-Isra:23)

The word (that) is only two letters, so the purpose of prohibiting this word is to indicate and emphasize the prohibition of what is greater than it, such as hitting or slapping. The general goal is not to harm the parents. Some objectives came ambiguous, requiring following linguistic, rhetorical, grammatical and fundamentalist evidence, so that the goal and wisdom become clear to the servant. The verses of the Qur'an are full of objectives and goals. It works to preserve the general principles of Sharia, and plays an important role in guiding the behavior of the servant in his food and drink, and contributes to the development of the universe and its preservation from the plagues and contemporary man-made laws that bring corruption [1]. Knowing the goals and objectives plays a fundamental role in the life of a Muslim and controlling his behavior, and it is an important source for raising the human being to the level of perfection and preparing a general approach for him for religious life, especially in the verses of foods. God made the need for food one of the instincts deposited in the human soul that a person needs to satisfy; to meet his basic needs in life, and a person expends his thought and effort in order to achieve

this, and he may take a path that causes him religious and worldly harm, without taking into account the effect of food on human nature, and changing the standard of good and evil for him, as a result of following instinct and not taking into account the legislative purposes and objectives directed at him. In any case, research on this topic is very important, especially in light of the scarcity of previous studies on it.

A. Previous studies

The Among the studies that the researcher addressed in his topic:

1) The impact of foods in achieving the necessary objectives of Sharia by researchers: Muhammad Nabil Al-Naqeeb and Muhammad Awad Al-Sukkar. Journal of Sharia and Legal Studies, Volume (46), Issue (2), Year: 2016, University of Jordan.

2) Prohibitions of food and drink in the Qur'an and their health impact on Islamic societies. By Dr. Muhammad Shara'i Abu Zaid, a research submitted to the Journal of Sharia Sciences and Islamic Studies (Umm Al-Qura University), Issue (79), Volume One, December 2019.

3) Halal and Haram foods and their jurisprudential developments - a comparative applied study in light of Surat Al-Ma'idah: by researcher/ Adnan Mahmoud Al-Assaf, a research published in the Jordanian Journal of Islamic Studies, Volume (5), Issue 2009 (2).

4) According to the researcher's follow-up, previous studies did not address the deduction and inference of the purposes and objectives of permitting and prohibiting foods and beverages. One of the most important additional aspects included in the current study is that it worked to link the moral purposes with the legislative objectives of permitting and prohibiting foods and beverages. From this standpoint, the researcher sought to work hard to track the legislative and moral purposes and objectives of permitting and prohibiting foods and beverages

B. Research Plan

Results The study was divided into three axes:

The first step is to define the concept of objectives and goals, as well as what is acceptable and forbidden.

Second, derive legislative aims and goals for permitting and prohibiting meals and beverages from the Holy Quran.

Third, identifying the moral purposes and goals for allowing and prohibiting foods and beverages in the Holy Quran.

C. Research Problem

The Holy Quran contains many rules and etiquette regarding food and drink, but scholars have not explained the legislative and moral objectives and goals that these verses carry. This has had a negative impact on Muslims' interactions with these verses in both religious and economic aspects of their lives, which is why researchers have worked to extract the legislative and moral objectives and goals from these verses in order to help Muslims and Westerners better understand these legislations' motivations and goals and to emphasize the balance between them in accordance with Islamic law's controls and guidelines.

D. Research Objectives

The purpose of the research is to identify the legislative and moral goals and objectives that are missing from the Holy Quranic verses about foods and drinks, to establish a connection between the legislative and moral goals and objectives found in these verses within a single study, and to extract various legislative and moral aspects from the viewpoint of these verses.

E. Methods of Research

The investigator employed the analytical approach to ascertain the legal and ethical purposes and intentions behind the Holy Quran's permissive and prohibitive dietary and beverage regulations.

II. THE FIRST AXIS

A. *The idea of goal in terms of vocabulary and language*

In language: It was stated in Al-Ain: “The goal: everything that is wide and high” [2] and it was stated in Al-Miqyas: “The goal: everything that is great and high” [3].

In terminology: He said in Al-Nihaya: “The goal: every high, prominent building” [4] , and he said: “It is the interest that results from the thing in terms of seeking it by starting it” [5]. So the goal is the interest that its seeker seeks to reach his desire, and it is not achieved except by starting it, and it may be one or more, total or partial.

B. *The concept of purpose in language and terminology*

In the language: The purpose: the end of something and its end. It is said: Your goal is to do such-and-such, meaning: the end of your action [6]. The purpose also means the intended and the intended. You say: He achieved his goal, meaning: his desire. Among its meanings: benefit, and the plural of goal: goals [7].

In terminology: it means: the intended meanings and wisdoms, and it is used in the sense of purpose, which is what something exists for [8] (Al-Ba’li: 2003 AD, 259).

C. *The concept of halal in language and terminology*

In language: permissible, permitted [9] .

In terminology: everything that religious law commands and does not prohibit [10] (Al-Manawi: 1990 AD, 354), or it is what is permissible and acceptable from a legal and rational perspective [11] (Raghib Isfahani: 1993 AD, 432).

D. *The concept of haram in language and terminology*

In language: haram is prevention, severity, prohibited, and forbidden [12].

In terminology: what the Lawgiver has forbidden to do in a way that is certain and obligatory, such that the one who abandons it is rewarded for complying, and the one who does it deserves punishment [13].

III. THE SECOND AXIS: LEGISLATIVE GOALS AND OBJECTIVES OF THE PERMISSIBILITY AND PROHIBITION OF FOODS AND DRINKS IN THE HOLY QURAN.

Legislative goals and objectives are considered a basic tool in understanding and interpreting the rulings, and aim to achieve the goals and objectives set by the Sharia. When looking at the verses on foods, the reader finds that many general and specific Quranic verses have been mentioned that indicate the permissibility of some foods and the prohibition of others. Among the verses that indicate generality is the Almighty’s saying: In Surah Al- Baqarah: 29.

The general goal is to direct attention to the unlimited power of God in creation and the complete management of the universe. Looking at the wording and concept of what is permissible and what is forbidden in the verses on foods, it appears that the goals and objectives lack clarity. After reviewing and investigating, the researcher finds that the intent of the concept of what is permissible and what is forbidden emerges from several aspects:

First: From a general aspect, God Almighty said: In Surah Al- Araf: 157)

The good is the permissible and the bad is the forbidden food that is mentioned in the legal text [14].

It appears from the above that the good and bad are considered a general aspect that is considered in the permissibility and prohibition of foods.

The permissibility of good things and the prohibition of bad things were not completely restricted and clear, but there are foods that the Qur'an has specified as permissible and forbidden, and this is not a complete and absolute restriction, but there are many foods that were not mentioned in the Qur'an and were mentioned in the Sunnah of the Prophet, and from this standpoint the general aspect appears. In any case, the purpose of the general statement is as follows:

1 - Facilitating and making things easy for the servants so that it is easy for them to protect themselves from destruction when necessary. And to stay away from moral and physical corruption. When a person eats bad things, he finds himself exposed to destruction, whether in his body, his religion, or his morals; When a person eats forbidden filth, it affects his body and mind [15].

2 - Staying away from spiritual pain. Eating filth and meat brings harm to the body and the patient feels spiritual pain because of the sin and violation of religion, so distress, anxiety, obsessive thoughts, and the like appear. The best witness is the Corona virus, which was caused by eating bats, as was said and talked about a lot, as it caused the death of hundreds of thousands of people [16].

Second: From the aspect of the obligation to stop, God Almighty said: In Surah Al- Ma'idah :3)

The prohibition of these types was not in vain, but rather the indication of the necessity of abandoning came for a purpose and wisdom, which is to preserve the soul and body of the human being religiously in terms of the necessity of working to abandon the forbidden and physically in terms of preserving the soul from what harms it; because the livestock that are not slaughtered, such as dead, strangled, fallen, gored, and others, have blood in them, and blood is full of microbes and germs that harm the body. This is what modern science has proven with many evidences and cases. If we look at Western systems, we will find that the Jews in the East and West follow the slaughtering that Muslims apply in order to preserve the soul. When they differed with the Muslims in their slaughtering, they found that the meat rotted quickly and was not desirable, so the Jews issued a law specific to them using the method that Muslims follow [17].

Third: The aspect of necessity. God Almighty said: in Surat Al-An'am : 145.

It is known from the above that the reason for stating the prohibition is that the food is impure and sinful. However, the Qur'an has indicated to the one in need and permitted him to eat dead meat or other things in a state of necessity, provided that the person does not intend or desire to transgress from lawful food to unlawful food, and exceed his need that fulfills his necessity. However, if the researcher were to follow the purpose of the aspect of necessity from the above, he would find that the purpose of that is as follows: [18] .

1)Preserving the soul from destruction, and Allah has made it obligatory upon us to preserve ourselves.

2)Facilitating and making things easy for the servants, for religion is ease and not hardship.

3)Teaching the servant that his intention and purpose are considered in permitting or prohibiting food in a state of necessity.

Fourth: From the aspect of adherence and detail, God Almighty said:in Surat Al-An'am: 118-119.

Allah the Almighty restricted the good things to those over which Allah's name is mentioned, then He separated the forbidden foods and made them specific with rules and conditions for Muslims, and whatever is other than that is permissible for them, even if the Lawgiver did not specify it [19], and the purpose of this restriction and detail is:

1)Connecting man to his Creator by applying the legal rulings and the Prophetic Sunnah.

2)Emphasizing the implementation of the major rule in foods that the original is permissibility.

3)Removing doubt and suspicion about what is permissible and what is forbidden in foods. So that they do not get confused and confused about them.

The Qur'an was not satisfied with this restriction, but rather it noted and indicated that foods must be based on the texts of the Shari'ah and the general rules, not contemporary foods based on whims, desires and incorrect analogies, as they are not considered; because they do not fall under the wording and concept of Islamic Shari'ah. An example of this is what the European Union said in the contemporary era by giving the green light to allow the eating of insects and allowing their use as food ingredients. This light that was issued is undoubtedly a path to misguidance and bringing diseases and epidemics [20].

IV. THE THIRD AXIS: THE MORAL GOALS AND OBJECTIVES OF THE PERMISSIBILITY AND PROHIBITION OF FOODS AND DRINKS IN THE HOLY QURAN.

The follower of divine legislation finds that there is a close relationship between morals and legislative rulings. The more researchers try to delve into the provisions of legislation, the more they find themselves faced with a huge amount of issues related to moral behavior.

Ethics means that the servant is characterized by honesty, modesty, righteousness, dignity and patience, and not all of this is morals. Morals are broader and more comprehensive than this, as they represent a pillar of religion, and are included in all legal obligations, from beliefs, worship, customs, contracts, transactions, crimes, punishments and policies.

The follower and observer of the verses on foods finds that they contain moral objectives controlled by the controls of Islamic legislation, which appear from several aspects, the most important of which are as follows:

First: The aspect of facilitation Facilitation is considered one of the methods considered in the Sharia by which rulings are facilitated and hardship and difficulty are removed from servants. There are many verses that indicate facilitation, including the Almighty's saying: In Surah Al-Ma'idah: 5.

The meaning of the verse is that the food of the People of the Book is permissible for Muslims and the food of Muslims is permissible for the People of the Book, even though they are outside of Islam. This facilitation and ease from the Lord of the servants was only for moral purposes, the most prominent of which are the following: [21].

1) Mixing with the People of the Book and coexisting with them. There is no Quranic prohibition or prohibition from the Sunnah of the Prophet against coexisting with the People of the Book. Rather, coexistence and mixing were made restricted by the controls and rules of Islamic law. Everyone needs the food of the other, so God permitted Muslims and the People of the Book to eat each other's food; to remove hardship and difficulty from Muslims.

2) Teaching the People of the Book the tolerance of the Islamic religion. This purpose is considered part of the legitimate moderation in which God Almighty said: in surat Al-Baqarah: 143.

There are many Quranic verses, prophetic hadiths, and Arab customs and traditions that demonstrate the tolerance and morals of Muslims in their dealings with those who differ from them in belief and religion. 3 - Notifying that the slaughtering of the People of the Book and their wealth is considered good. This notification is intended to please Muslims, so that they will not be afraid or embarrassed by being held accountable. God Almighty said: In Surah Al-Ma'idah: 4.

The verse shows the permissibility of what is hunted by animals trained for hunting, whether it has a fang or a claw. The permissibility was not limited to what is hunted with known hunting tools such as arrows and the like, but it permitted hunting with trained birds of prey, to make things easier for the servants.

Upon examination and follow-up, the researcher finds that this facilitation and ease were legislated for moral goals and purposes, which are: [22].

1) Expanding the circle of what is permissible and not narrowing it, and with this expansion Muslims can perform their duties of worship and deeds, and Muslims will feel the care and divine kindness in the affairs of their lives, and their faith will increase with their faith.

2) Leaving the emphasis on the name, as it was made easier for the Muslim in the aspect of the name, as the name was made when sending the bird of prey to hunt, so it is permissible to eat the game caught by the trained bird of prey, whether the bird of prey was killed or not, but if the game had a stable life, then it is obligatory to slaughter it.

3) Man sees with his eyes and heart the facilitation and kindness of Allah to man in enabling him to teach animals to hunt, and making those creatures capable of learning, and their learning is to let go when they are sent, and to be deterred when they are deterred, and all of that is to facilitate and make it easy to obtain sustenance without causing them any cost or difficulty.

4) Adhering to piety in what the Shariah has made easy. The facilitation and tolerance in the aspect of foods referred to in the verse does not mean leniency and negligence on the part of the Muslim in the commands and prohibitions of the Shariah, as permission and permissibility were legislated to make things easier for the Muslim, and therefore he must observe the conditions that the Lawgiver has set, such

as requiring the training of the birds of prey, and the mention of the name of Allah when sending them, and the like, in order to achieve the purpose of these devotional conditions.

The moral goal of this is to please the Muslim's soul by eating so that he does not harm himself with regret and remorse for doing that, and this is considered one of the most eloquent positions of facilitation, to combine permission and forgiveness from punishment.

The second aspect: benevolence

It is represented in doing good, giving, and sympathizing with others in a kind and fair manner. Whether it is in small acts such as providing assistance to a person in need, or in larger acts such as: contributing to charitable or community projects; the goal of which is to create a more humane and happy society. After following the concept of benevolence, the researcher finds that the moral goals and objectives of benevolence appear in the following verses: God Almighty said: In Surah Al- Hajj: 28.

And God Almighty said: In Surah Al- Hajj: 36.

The observer of the verse finds that Allah did not directly command to give the contented and needy from the sacrifices and gifts, but rather He commanded the servant to start with himself by eating from the sacrifices and gifts, and this is a kindness from Allah Almighty to His servants, so He does not feed others and leave himself, but rather He starts with himself first and then does good to others, and this is by way of recommendation. The moral purpose of this kindness is for the servant to satisfy his instinctive need and not to make himself feel tight by withholding or leaving, and from that he can give to the contented and needy generously without stinginess or miserliness, in order to remove harm and poverty from them [23] .

The third aspect: Gratitude

It is the recognition of the blessing of the benefactor in a submissive manner or it is praising the benefactor by mentioning his kindness, and gratitude is with the heart, the tongue, and the limbs. As for the limbs, it is the use of Allah's blessings in obedience to Him, and avoiding using them to disobey Him [24].

From this perspective, it is understood that gratitude is an act of worship for which the servant is rewarded; for showing gratitude and appreciation to Allah - the Most High - for the blessings that Allah bestows upon His servants, and it is not a person saying the words thank you to Allah or thank you, but it must be accompanied by an internal feeling of gratitude and deep appreciation to Allah and working by His grace. It is also represented by physical actions such as: prayer, zakat, and good deeds.

The observer of the Qur'an finds that there are many verses that link food to gratitude, such as the

Almighty's saying: In Surah Al- (Baqarah: 172)

And God Almighty said: In Surah Al- Nahl: 114).

Allah - the Almighty - has tied eating good things to gratitude, as if eating good things is not good unless the servant links them to gratitude to Allah, and all of that was made for divine goals and purposes, including [25]:

- 1) Making the servant feel grateful inwardly and outwardly for the favor and kindness he receives from the Benefactor.
- 2) Convincing that the reason for these foods and blessings that Allah has provided and prepared is to straighten out life and continue living in this worldly life so that a person does not attribute his favor to himself or his fatigue or to anyone other than Allah.
- 3) Guiding the servant to adhere to submission, humility and humility when thanking Allah.
- 4) Making the servants feel obligated to remember Allah, thank Him and praise Him when starting the meal and when finishing it.
- 5) Showing practical gratitude represented by the work of the limbs for the servants, especially in the area of food, and it is by maintaining good deeds and avoiding sins.

V. CONCLUSIONS

After God's blessing for this research process, which was represented in raising and deducing the legislative and moral goals and objectives of the permissibility and prohibition of foods and drinks in the Holy Quran, this research resulted in many results, the most important of which are as follows:

- 1) The verses on foods contained legislative and moral goals and objectives, both of which are controlled by the controls of divine legislation. These goals and objectives highlighted the beauty of legislative taste to preserve human life in general, unlike Western positive laws, which are a path and means to bring corruption on a global level.
- 2) The moral goals are presented over the legislative goals in the verses on foods; as they are related to manners and morals, explicitly in the Quranic verses, and are considered the most significant and important in Sharia; as morals represent a general goal in Islamic Sharia. Emptying the rulings of morals is considered emptying the rulings of Islamic Sharia.
- 3) Generality and restriction in deriving goals and objectives took the lead in highlighting the goals and objectives of prohibition and permissibility in the verses of foods.
- 4) The permissibility and prohibition referred to in the verses of foods varied from several fundamental aspects; represented in the aspect of generality and the obligation to leave and compulsion and restriction and detail.
- 5) The moral objectives of permissibility and prohibition in the verses of foods emerged from several aspects: the aspect of facilitation, benevolence, and gratitude.

VI. RECOMMENDATIONS

Highlighting the legislative and moral objectives and goals of the permissibility and prohibition of foods and drinks in the Holy Quran in order to have a great positive impact on the interaction of Muslims with the verses of foods in the aspects of their religious and economic lives,

and to contribute to helping Muslims and Westerners with a deeper understanding of the goals and objectives behind these legislations, and highlighting the balance between legislative and moral objectives and goals in accordance with the controls and rules of Islamic law.

REFERENCES

THE HOLY QURAN.

- [1] Fadli, Muhammad, (2021). Genetically Modified Food Products in the Perspective of the Concept of Halal and Good Based on the Evaluation of the Objectives of Preservation and Life. *Malaysian Journal of Sharia and Law*, 9(1), 73-85.
- [2] Al-Farahidi, Abu Abdul Rahman Al-Khalil bin Ahmed bin Amr bin Tamim (d. 170 AH), *Kitab Al-Ain*, Dar Al-Kotob Al-Ilmiyyah. 1st ed., 2003 AD.
- [3] Ibn Faris, Ahmad ibn Faris ibn Zakariya al-Qazwini al-Razi, Abu al-Husayn (d. 395 AH), *Dictionary of Language Standards*, edited by: Abd al-Salam Muhammad Harun, Dar al-Fikr, no date, 1979 AD, 6/39-49
- [4] Ibn al-Athir, Majd al-Din Abu al-Sa'adat al-Mubarak ibn Muhammad ibn Muhammad ibn Abd al-Karim al-Shaibani al-Jazari (d. 606 AH), *The End in the Strange Hadith and Trace*, edited by: Tahir Ahmad al-Zawi - Mahmoud Muhammad al-Tanahi, Scientific Library - Beirut, (no date), 1979 AD, 5/251.
- [5] Al-Manawi, Zayn al-Din Muhammad, known as Abd al-Ra'uf ibn Taj al-Arifin ibn Ali ibn Zayn al-Abidin al-Haddadi (d. 1031 AH), *At-Tawqif ala Muhimmat al-Ta'arif*, Alam al-Kutub, Cairo, 1st ed., 1990 AD, 536.
- [6] Al-Harawi, Muhammad ibn Ahmad ibn al-Azhari, (d. 370 AH), *Tahdhib al-Lugha*, edited by: Muhammad Awad Mara'b, Dar Ihya al-Turath al-Arabi - Beirut, 1st ed., 2001.
- [7] Ibn Manzur, Muhammad ibn Makram ibn Ali, Abu al-Fadl, Jamal al-Din, (d. 711 AH), *Lisan al-Arab*, Dar Sadir - Beirut, 3rd ed., 1992, 15/143.
- [8] Al-Ba'li, Muhammad ibn Abi al-Fath ibn Abi al-Fadl, (d. 709 AH), *Al-Mutala'a Alfadh al-Muqni'*, edited by: Mahmoud al-Arna'ut and Yassin Mahmoud al-Khatib, Al-Sawadi Library for Distribution, 1st ed., 2003.
- [9] Ibn Manzur, Muhammad ibn Makram ibn Ali, Abu al-Fadl, Jamal al-Din, (d. 711 AH), *Lisan al-Arab*, Dar Sadir - Beirut, 3rd ed., 1992, 11/167.
- [10] Al-Manawi, Zayn al-Din Muhammad, known as Abd al-Ra'uf ibn Taj al-Arifin ibn Ali ibn Zayn al-Abidin al-Haddadi (d. 1031 AH), *At-Tawqif ala Muhimmat al-Ta'arif*, Alam al-Kutub, Cairo, 1st ed., 1990 AD, 354.
- [11] Raghieb Isfahani, Hussein ibn Muhammad, *Al-Mufradat fi Gharib al-Quran*, Damascus, Dar al-Qalam, 1st ed., 1993, 432.
- [12] Ibn Faris, Ahmad ibn Faris ibn Zakariya al-Qazwini al-Razi, Abu al-Husayn (d. 395 AH), *Dictionary of Language Standards*, edited by: Abd al-Salam Muhammad Harun, Dar al-Fikr, no date, 1979 AD, 3/28.

- [13] Raghib Isfahani, Hussein ibn Muhammad, Al-Mufradat fi Gharib al-Quran, Damascus, Dar al-Qalam, 1st ed., 1993, 232.
- [14] Al-Hajjawi, Abu al-Naja Sharaf al-Din Musa, (d. 968 AH), Al-Iqna' fi Fiqh al-Imam Ahmad ibn Hanbal, Dar al-Ma'rifah Beirut - Lebanon, 1994, 2/132
- [15] Al-Sharbini, Shams Al-Din, Muhammad bin Ahmad Al-Khatib, (d. 977 AH), Al-Siraj Al-Munir in helping to know some of the meanings of the words of our Lord, the All-Wise, the All-Knower, Bulaq Press (Al-Amiriya) - Cairo, 1285 AH, 1/245.
- [16] Al-Amin, Rahab Muhammad, The repercussions of the Corona virus pandemic on the symptoms of obsessive-compulsive disorder from the point of view of Saudi society, Journal of Educational and Psychological Sciences, King Abdulaziz University | Kingdom of Saudi Arabia, 2022 AD, 102.
- [17] Shahid, Muhammad, The concept of good lawful and the objectives of Sharia in slaughtering animals, The International Journal of Maqasid Studies and Advanced Islamic Research, 2020 AD, 55.
- [18] Al-Tabari, Muhammad bin Jarir, (310 AH), Jami' Al-Bayan on the interpretation of any of the Qur'an, Hijr for Printing and Publishing, 1st ed., 2001 AD, 4/87.
- [19] Ibn Ashur, Al-Tahrir and Al-Tanwir Muhammad Al-Tahir bin Muhammad bin Muhammad Al-Tahir (d. 1393 AH), Tunisian House for Publishing - Tunis, 1984 AD, 5/156.
- [20] Al-Sharq Newspaper, The first approval from European life to adopt insects as food for humans. August, ((2021.
- [21] Saleem, Ahmed, Ahmed, The role of the facilitative pledge in applying halal standards in products and services and the parameters of the Libyan legal system for Malaysian standards, Malaysian Journal of Sharia and Law, 2018, 111.
- [22] Ghazali, Muhammad, 3D printed food products from the perspective of halal forensic medicine, Malaysian Journal of Sharia and Law, 2022, 54
- [23] Saleem, Ahmed, Ahmed, The role of the facilitative pledge in applying halal standards in products and services and the parameters of the Libyan legal system for Malaysian standards, Malaysian Journal of Sharia and Law, 2018, 111..
- [24] Al-Fayrouzabadi, Majd al-Din Abu Tahir Muhammad bin Yaqoub, (d. 817 AH), Al-Qamoos Al-Muhit, Al-Risala Foundation for Printing, Publishing and Distribution, Beirut - Lebanon, 8th ed., 2005 AD, 346.
- [25] Shahid, Muhammad, The concept of good lawful and the objectives of Sharia in slaughtering animals, The International Journal of Maqasid Studies and Advanced Islamic Research, 2020 AD, 55.

Resource estimation of an iron ore field with different methods

Abdul Aziz Mahboob^{*1}, Bülent Erdem²

¹Geophysics Engineering Department, Sivas Cumhuriyet University, Türkiye

²Geophysics Engineering Department, Sivas Cumhuriyet University, Türkiye

^{*}(abdulazizmahboob13@gmail.com) Email of the corresponding author

Abstract – This study, which is part of a master's thesis, deals with the resource estimation of an iron ore field using inverse distance weighting (IDW) and kriging methods. 1321 iron ore samples from 42 drillholes were organized and analyzed for this study.

Prior to assigning grades to blocks, semivariogram analyzes were performed to determine the spatial correlation of ore grades and cross-validation was performed to assess the accuracy of the variogram model. Using the IDW and kriging methods, grades were assigned separately to the three high-grade, medium-grade and low-grade ore bodies. The results showed slight differences in estimated tonnage and average iron grade between the two methods, with the kriging method yielding slightly lower grades for high-grade ores and higher grades for low-grade ore categories. Finally, the individual orebodies were combined into a single model that yielded a total resource of approximately 99.99 million tonnes with an average iron grade of 26.14%. This study highlights the importance of method selection in resource estimation and provides valuable insights for long-term mine planning and economic feasibility assessment.

Keywords – Inverse Distance Weighting, Kriging, Search Ellipsoid, Compositing, Variogram Analysis.

I. INTRODUCTION

A successful production system brings significant benefits for the company and society. One of the most important factors for the successful transformation of raw materials into products is the appropriate planning and management of production. Mining is one of the sectors that require long-term production planning, as it involves many uncertainties and is a capital-intensive business.

Surface mine production planning is usually carried out as short-term and long-term production planning. Short-term production planning is usually carried out at the operational level on a weekly and daily basis, while long-term planning sets production limits on an annual basis, which can be divided into half-yearly or quarterly periods. Long-term plans therefore set a limit for short-term plans and require the inclusion of several parameters that should be carefully evaluated. The main objective of production planning in open pit mining is to determine ore and waste mining sequences that satisfy geotechnical, process and other operational constraints so that the overall benefit of block selection should be maximized in the different periods. On this basis, production plans typically aim to maximize the total amount of end product or maximize net present value (NPV). Maximization of the end product is generally sought when market pressures or other commitments are present. The majority of long-term production planning is done to maximize NPV [1].

Long-term production planning (LTPP) is a large-scale optimization problem that aims to find the block mining sequence that generates the highest possible NPV while satisfying a variety of physical and economic constraints [2].

Successful production management, which is one of the main functions of the company, can create benefits at the level of the company, the market and the country's economy. An important part of production management is production planning and scheduling. Planning and scheduling provide the company with

the ability to easily see the future and be prepared for uncertainties. As in many other sectors, the management of production is of great importance in the mining sector. For this reason, the quantitative decision-making techniques developed for production planning and scheduling have also been applied to mining [3].

II. MATERIALS AND METHODS

A. Materials

The primary dataset used in this study consists of exploration drilling data from 42 drill holes totaling 1321 samples of drilled material. This data was organized and converted into Excel spreadsheets and categorized into four main components: Collar, Geology, Survey and Assay.

The collar data contains information such as the hole ID, the coordinates of the longitude (east) and latitude (north), the reduced level (RL) and the maximum depth of the individual boreholes.

The geology file contains the hole ID, the depth from, the depth to, the interval and the lithologic code representing the geologic features encountered during drilling.

The survey data comprises the hole ID, azimuth, dip, and depth, which are essential for understanding the orientation and trajectory of each borehole.

The assay file contains details of the chemical analysis, including the depth from, depth to, interval and iron content (Fe%) of each sample.

In addition to the drilling data, the second key material utilized in this study is the topography of the explored area, which serves as a spatial reference for geological modeling, block modeling, and open-pit design.

B. Methods

This part of the study describes the methodology applied to the project, which combines both economic principles and mathematical algorithms to support long-term mine planning. In open pit mining, the definition of pit boundaries is of crucial importance as it has a direct impact on the efficiency and profitability of resource extraction. The aim is to minimize waste extraction and maximize ore recovery, as excessive waste extraction leads to increased operating costs and a loss of time and value. To solve this problem, the Lerchs-Grossmann algorithm, which was first introduced by Lerchs and Grossmann in the 1960s [4], was used to determine the optimum boundaries of the excavation pit.

In addition, the study discusses various pit development strategies that determine the development of the pit over time. These include the worst-pit method, the best-pit method, and multiple benching (or staggered pushbacks). Each method represents a different sequencing approach and has implications for cash flow, operational feasibility and project risk. By comparing these strategies, the study aims to find a balanced and economically viable approach to pit development.

III. VARIOGRAM ANALYSES

Before assigning grades to the ore blocks, the dimensions of the search ellipsoid must be determined. If a large ellipsoid is used, resulting from an inappropriate design, the majority of the orebody falls into the "measured" resource category and is designated as "reserve" that can guarantee the exploitability of the orebody. Consequently, the financial return of the mine in feasibility analyzes can be significantly higher than what it should be in the real situation. In contrast, if a small search ellipsoid is used, the majority of the ore body is classified as an "indicated" or "probable" resource. This can lead to the NPV of the mine being understated due to over-planning, which in turn can lead to sub-optimal utilization of the underground resources, a national treasure. As is well known, the National Resources and Reserves Reporting Committee (UMREK) code, the system adopted by Türkiye for classifying resources and reserves, does not recommend the use of "probable" resources in feasibility analyses. Therefore, semi-variogram maps were created to determine the distance of influence of the samples intersected in drillholes.

The strike, pitch, and dip angles of the orebody were plotted on the variogram maps of the high grade orebody and 36 10° slices were used for each of the three axes. In addition, a 50 m step interval was defined

for strike and pitch, and a 2 m step interval for dip. In this way, the relationship between the sample pairs was examined over distances of 725 m for the strike and dip and 121 m for the dip. These distances were also measured on the map and confirmed to accurately reflect the extent of the orebody.

An exponential semi variogram model was fitted to the sample pair data with the value of nugget and sill being 2.2 and 27, respectively (Figure 1). The dip direction of the search ellipsoid is N200° with a dip of 90°. The pitch is 180°. The radii of the axes of the search ellipsoid, therefore, generated by the above approach is as follows: Axis 1: 106 m, Axis 2: 26 m, and Axis 3: 90 m. The search ellipsoid has quadrants, each of which must catch at least one sample with the maximum number of samples in each sector unlimited.

The medium grade orebody was divided into 72 5° slices, which allowed examining sample pairs along the strike of N295°. The step distance was selected as 70 m along 735 m of extent of the medium grade orebody. There were 36 10° slices along the dip and pitch directions. Likewise, a 2 m step interval was assigned along the dip and 50 m along the pitch direction. By this way, the relationship between the sample pairs was examined over distances of 90.5 m along the dip and 775 m along the pitch.

A spherical semi variogram model was fitted to the sample pair data with the value of nugget and sill being 0.0 and 31, respectively (Figure 2). The dip direction of the search ellipsoid is N25° with a dip of 20°. The pitch is 170°. The radii of the axes of the search ellipsoid are 200 m for Axis 1, 50 m for Axis 2 and 100 m for Axis 3.

The low grade orebody was divided into 72 5° slices, which allowed examining sample pairs along the strike of N290°, the dip direction of 20° and the pitch direction of 5°. The step distance was selected as 70 m along 735 m of extent of the low grade orebody. Similarly, a 3 m step interval was assigned along the dip and 70 m along the pitch direction. By this way, the relationship between the sample pairs was examined over distances of 181 m along the dip and 735 m along the pitch.

A spherical semi variogram model was fitted to the sample pair data with the value of nugget and sill being 2.7 and 49.6, respectively (Figure 3). The dip direction of the search ellipsoid is N195° with a dip of 90°. The pitch is 175°. The radii of the axes of the search ellipsoid are 209 m for Axis 1, 90 m for Axis 2 and 85 m for Axis 3.

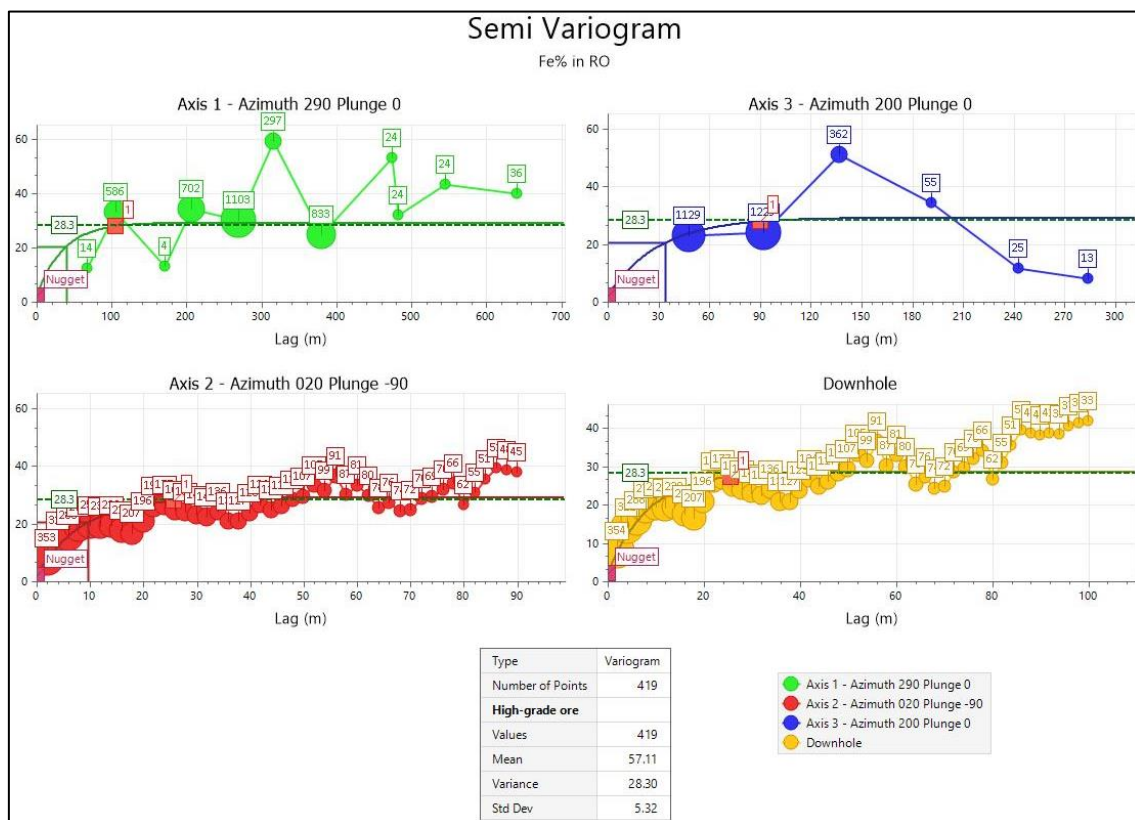


Fig. 1 Semivariograms of the high grade orebody

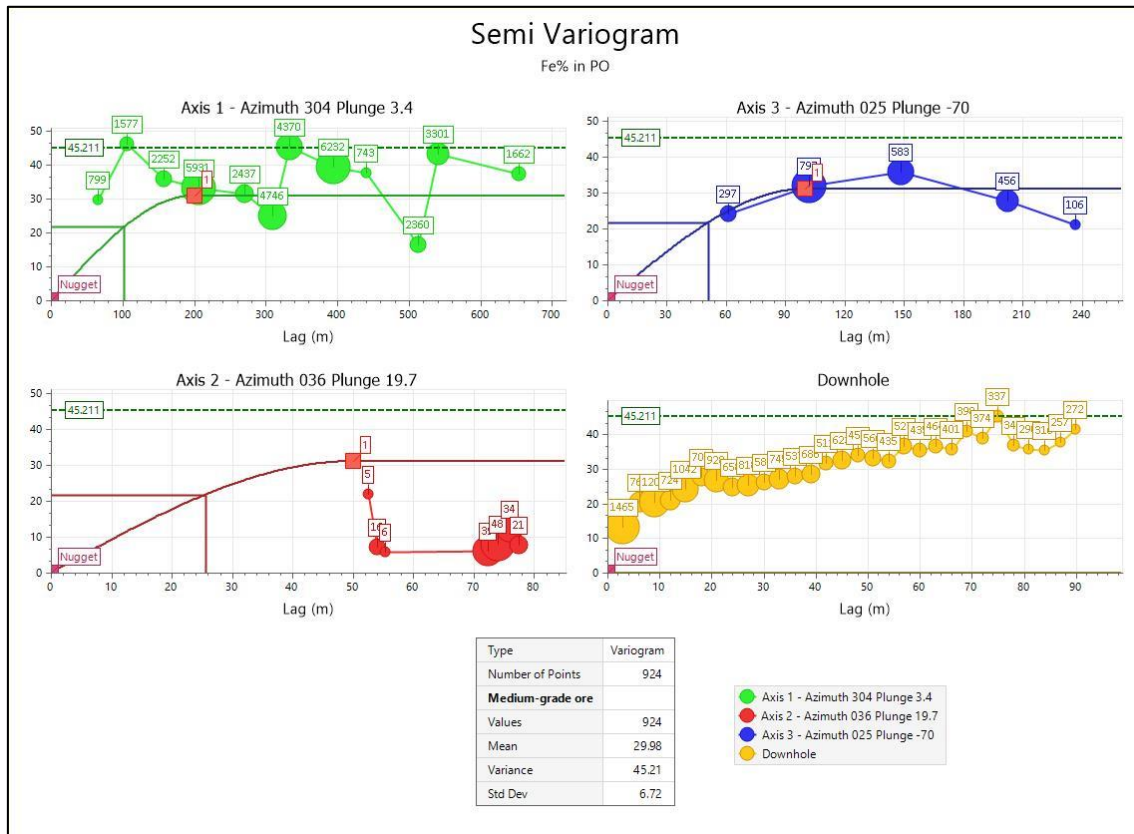


Fig. 2 Semivariograms of the medium grade orebody

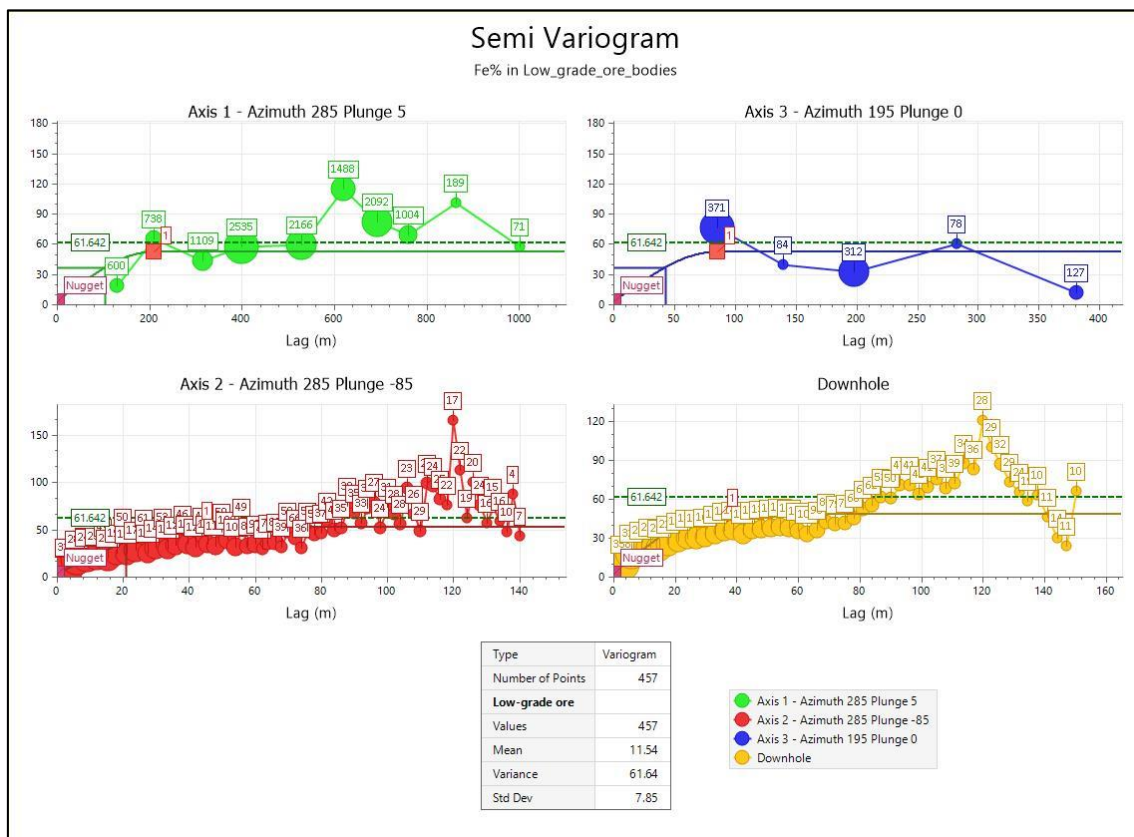


Fig. 3 Semivariograms of the low grade orebody

IV. CROSS VALIDATION OF THE MODELS

Cross-validation makes it possible to assess the influence of the choice of variogram model, kriging type and search strategies. Therefore, cross validation is a way of testing the validity of the model prior to using it for kriging or IDW estimation (www.micromine.com; accessed 11.07.2025). For the estimation, the estimated values are plotted against the true values and the scenario with the highest correlation coefficient is sought.

In cross-validation, sample points are successively omitted from the data set and estimated using the remaining data and suitable scenario parameters. During estimation, the error is calculated as the residual of the estimated value minus the true value. These error values can be analyzed in different ways. The most common methods for interpreting the error values are as follows:

A scatterplot of the true values versus the estimated values. There should be few outliers and the correlation coefficient should be high. The histogram of the errors should be symmetrical, with a mean of zero in the middle, and the standard deviation should be as low as possible. The plot of the error versus the estimated value should be centered on the zero-error line. This is referred to as “conditional unbiasedness” [5].

The cross validation diagrams of the high-grade ore are shown in Figure 4. There is a high correlation ($R \sim 79\%$) between the true values and the estimated values with only a few outliers. The histogram of the standard errors is symmetrical and centered at zero. Finally, the plot of the error versus the estimated value is centered around the zero-error line, indicating a well-designed model.

Figure 5 illustrates the cross-validation plots of the medium ore. There is also a high correlation ($R \sim 84\%$) between the true values and the estimated values with some outliers. The histogram of standard errors is symmetrical and centered at zero. Finally, the plot of the error versus the estimated value is centered around the zero-error line, indicating a well-developed model.

Figure 6 shows the cross-validation plots for the low-grade ore. The highest correlation ($R \sim 87\%$) between the true values and the estimated values is achieved with this model. The histogram of standard errors is symmetrical and centered at zero. Finally, the plot of the error versus the estimated value is centered around the zero-error line, indicating a well-established model.

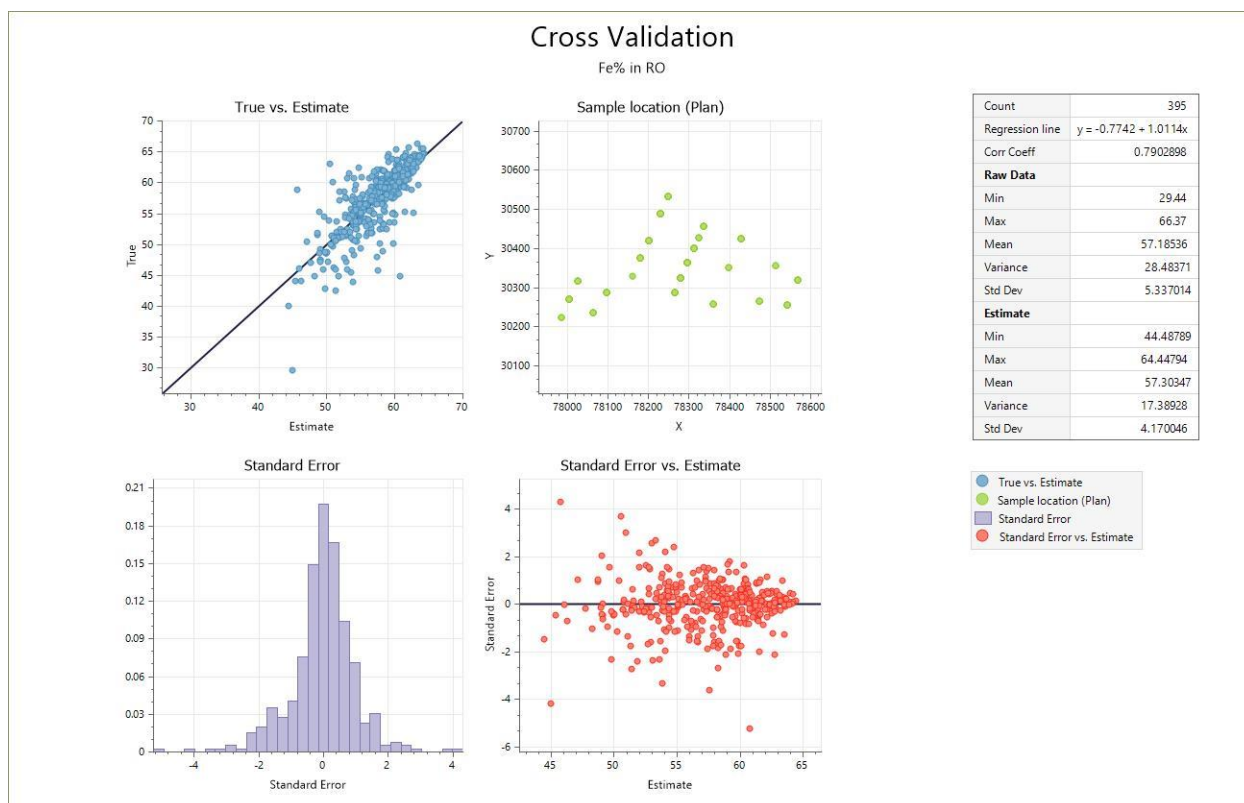


Fig. 4 Cross validation plots of the high grade orebody

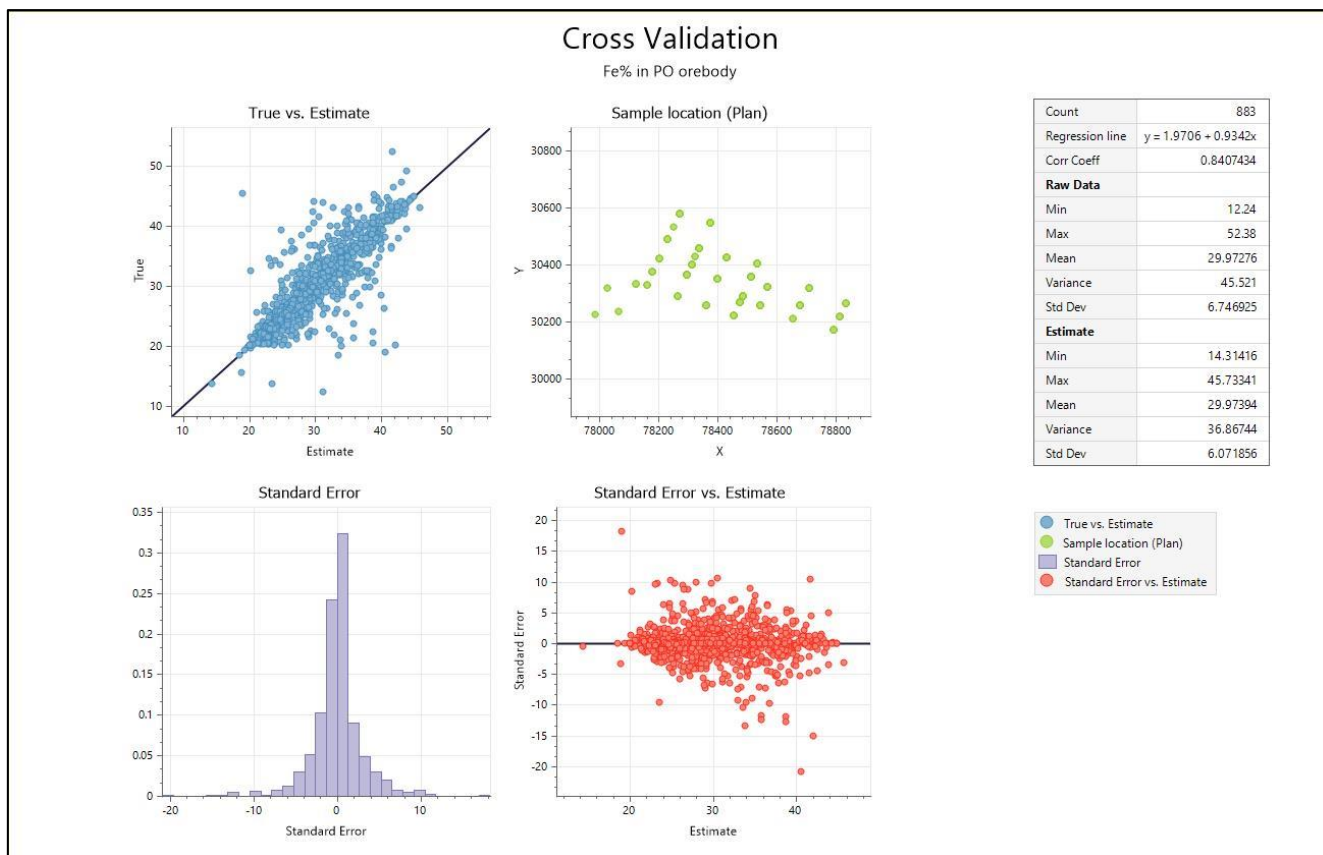


Fig. 5 Cross validation plots of the medium grade orebody

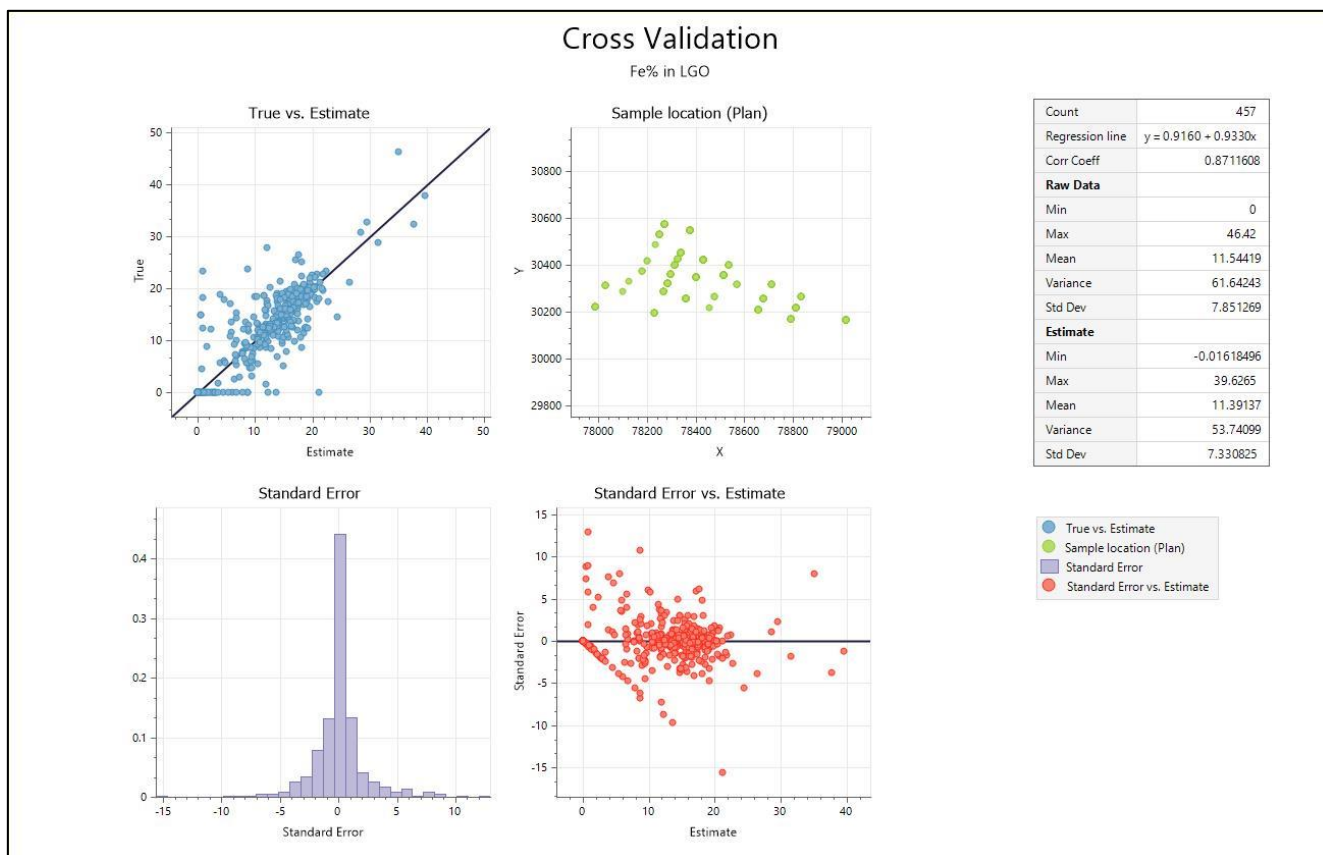


Fig. 6 Cross validation plots of the low grade orebody

V. GRADE ASSIGNMENT FOR THE HIGH GRADE OREBODY

In this work, the assignment of grades to the blocks in the ore bodies was carried out using two commonly used tools: the deterministic interpolation method of the IDW algorithm and the geostatistical tool of kriging, which are based on statistical models that include autocorrelation, i.e. the statistical relationships between the measured points.

IDW is one of the most commonly used methods in geostatistical analysis and modelling. It is a deterministic spatial interpolation method that estimates values at unsampled locations and is based on the principle that closer points have a greater influence than points further away (<https://support.esri.com/en-us/gis-dictionary/inverse-distance-weighted-interpolation>; accessed 13.07.2025).

Kriging assumes that the distance or direction between sample points reflects a spatial correlation that can be used to explain variation in the surface. The Kriging tool fits a mathematical function to a specified number of points or to all points within a specified radius to determine the output value for each location. It is a multi-step process that includes exploratory statistical analysis of the data, variogram modelling, surface creation, and (optionally) exploration of a variance surface. Kriging is most appropriate when the data is known to have a spatially correlated distance or directional variance (https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/3d-analyst/how-kriging-works.htm%23ESRI_SECTION1_E112B7FAED26453D8DA4B9AEC3E4E9BF; accessed 13.07.2025).

Firstly, the anisotropic IDW method of power 2 was used to assign grades to the ore blocks using the composited analysis data. The parameter values of the search ellipsoid used by both algorithms are listed in Table 1. For a block to be registered as measured, samples must be taken from at least two drillholes while sample values from a single drill hole are sufficient for the indicated resources. The search ellipsoids generated by the semivariogram analysis have four sectors (quadrants). To assign a grade value to any block, each sector must use at least one analysis value, whereby a maximum of 150 analyses are permitted.

Modelling was followed with the ordinary kriging method where grade values were assigned to individual blocks within the orebody. The same search ellipsoid was used in the estimation process.

It should be noted that boundaries of blank block models are created based on the furthest samples along the principal directions, which may ultimately result in a massive block. A conservative approach was taken to avoid assigning unrealistic grade values to large orebodies for which assay data was not available and to avoid inappropriately large tonnages for the resource. Accordingly, the orebody was constrained by the drillholes that defined it and the ore block model was constructed accordingly.

Table 1. Parameter values of the search ellipsoid used by the estimation algorithms for the high grade orebody

Category	Axis-1 (m)	Axis-2 (m)	Axis-3 (m)	Azimuth (°)	Plunge (°)	Rotation (°)
Measured	156.54	114.81	88.90			
Indicated	313.08	229.62	177.80	251.52	9.85	17.50
Inferred	469.62	344.43	266.70			

The tonnage calculated based on grade ranges of the high grade iron ore using the IDW and kriging estimation algorithms are presented in Tables 2 and 3, respectively.

The deposit contains 8,153,165 tonnes of iron ore with an average Fe grade of 58.02%, yielding approximately 4,730,335 tonnes of extractable iron, according to the IDW method. Of the total resource, 99.83% falls into the measured category, while only 0.17% is classified as Indicated, which typically has a lower geological confidence than Measured. This high proportion of measured resources indicates that the search ellipsoid used in the resource estimation was relatively tight, and that many samples met the criteria for classification with high confidence.

Although the total volume and tonnage figures for the high-grade orebody were consistent with the IDW method (8,153,165 tonnes of ore and 4,656,037 tonnes of extractable iron content), the average Fe grade estimated by kriging was slightly lower at 57.11%. The kriging method assigned slightly lower grades to the "measured" blocks and higher grades to the "indicated" blocks.

Table 2. Estimated tonnage of resources by the IDW algorithm for the high grade orebody

From Fe% (%)	To Fe% (%)	Volume (m ³)	Density (t/m ³)	Tonnage (t)	Fe % (%)	Iron content (t)	Cumulative					Resource type
							Volume (m ³)	Tonnage (t)	Density (t/m ³)	Fe% (%)	Iron content (t)	
60	70	0	0.00	0	0.00	0	0	0	0.00	0.00	0	Indicated
50	60	4984	2.65	13208	53.79	7105	4984	13,208	2.65	53.79	7105	Indicated
40	50	195	2.65	517	49.19	254	5179	13,724	2.65	53.62	7359	Indicated
30	40	0	0.00	0	0.00	0	5179	13,724	2.65	53.62	7359	Indicated
20	30	0	0.00	0	0.00	0	5179	13,724	2.65	53.62	7359	Indicated
10	20	0	0.00	0	0.00	0	5179	13,724	2.65	53.62	7359	Indicated
0	10	0	0.00	0	0.00	0	5179	13,724	2.65	53.62	7359	Indicated
60	70	184,337	2.65	488,493	60.71	296,564	184,337	488,493	2.65	60.71	296,564	Measured
50	60	2,879,216	2.65	7,629,922	57.90	4,417,895	3,063,553	8,118,415	2.65	58.07	4,714,459	Measured
40	50	6261	2.65	16592	47.95	7956	3,069,814	8,135,007	2.65	58.05	4,722,415	Measured
30	40	0	0.00	0	0.00	0	3,069,814	8,135,007	2.65	58.05	4,722,415	Measured
20	30	117	2.65	310	22.17	69	3,069,931	8,135,317	2.65	58.05	4,722,484	Measured
10	20	1155	2.65	3061	12.68	388	3,071,086	8,138,378	2.65	58.03	4,722,872	Measured
0	10	401	2.65	1063	9.75	104	3,071,487	8,139,441	2.65	58.03	4,722,976	Measured
60	70	184,337	2.65	488,493	60.71	296,564	184,337	488,493	2.65	60.71	296,564	TOTAL
50	60	2,884,200	2.65	7,643,130	57.90	4,425,000	3,068,537	8,131,623	2.65	58.06	4,721,564	TOTAL
40	50	6456	2.65	17108	47.99	8211	3,074,993	8,148,731	2.65	58.04	4,729,774	TOTAL
30	40	0	0.00	0	0.00	0	3,074,993	8,148,731	2.65	58.04	4,729,774	TOTAL
20	30	117	2.65	310	22.17	69	3,075,110	8,149,042	2.65	58.04	4,729,843	TOTAL
10	20	1155	2.65	3061	12.68	388	3,076,265	8,152,102	2.65	58.02	4,730,231	TOTAL
0	10	401	2.65	1063	9.75	104	3,076,666	8,153,165	2.65	58.02	4,730,335	TOTAL

Table 3. Estimated tonnage of resources by the kriging algorithm for the high grade orebody

From Fe% (%)	To Fe% (%)	Volume (m ³)	Density (t/m ³)	Tonnage (t)	Fe % (%)	Iron content (t)	Cumulative					Resource type
							Volume (m ³)	Tonnage (t)	Density (t/m ³)	Fe% (%)	Iron content (t)	
60	70	0	0.00	0	0.00	0	0	0	0.0000	0.00	0	Indicated
50	60	5179	2.65	13,724	53.98	7408	5179	13,724	2.6500	53.98	7408	Indicated
40	50	0	0.00	0	0.00	0	5179	13,724	2.6500	53.98	7408	Indicated
30	40	0	0.00	0	0.00	0	5179	13,724	2.6500	53.98	7408	Indicated
20	30	0	0.00	0	0.00	0	5179	13,724	2.6500	53.98	7408	Indicated
10	20	0	0.00	0	0.00	0	5179	13,724	2.6500	53.98	7408	Indicated
0	10	0	0.00	0	0.00	0	5179	13,724	2.6500	53.98	7408	Indicated
60	70	321,344	2.65	851,562	60.82	517,919	321,344	851,562	2.6500	60.82	517,919	Measured
50	60	2,711,143	2.65	7,184,529	56.83	4,082,734	3,032,487	8,036,091	2.6500	57.25	4,600,653	Measured
40	50	37,131	2.65	98,397	47.93	47,161	3,069,618	8,134,488	2.6500	57.14	4,647,815	Measured
30	40	196	2.65	519	39.38	205	3,069,814	8,135,007	2.6500	57.14	4,648,019	Measured
20	30	0	0.00	0	0.00	0	3,069,814	8,135,007	2.6500	57.14	4,648,019	Measured
10	20	1673	2.65	4433	13.77	610	3,071,487	8,139,441	2.6500	57.11	4,648,630	Measured
0	10	0	0.00	0	0.00	0	3,071,487	8,139,441	2.6500	57.11	4,648,630	Measured
60	70	321,344	2.65	851,562	60.82	517,919	321,344	851,562	2.6500	60.82	517,919	TOTAL
50	60	2,716,322	2.65	7,198,253	56.82	4,090,142	3,037,666	8,049,815	2.6500	57.24	4,608,061	TOTAL
40	50	37,131	2.65	98,397	47.93	47,161	3,074,797	8,148,212	2.6500	57.13	4,655,223	TOTAL
30	40	196	2.65	519	39.38	205	3,074,993	8,148,731	2.6500	57.13	4,655,427	TOTAL
20	30	0	0.00	0	0.00	0	3,074,993	8,148,731	2.6500	57.13	4,655,427	TOTAL
10	20	1673	2.65	4433	13.77	610	3,076,666	8,153,165	2.6500	57.11	4,656,037	TOTAL
0	10	0	0.00	0	0.00	0	3,076,666	8,153,165	2.6500	57.11	4,656,037	TOTAL

VI. GRADE ASSIGNMENT FOR THE MEDIUM GRADE OREBODY

The parameter values of the search ellipsoid generated by the semivariogram analysis are listed in Table 4. As we had similar concerns about uncontrolled dispersion of the orebody, a boundary string was applied to solve this problem. In this way, the medium grade orebody was significantly reduced in size. Modeling was continued in the same way as for the high-grade orebody.

The tonnage calculated based on grade ranges of the medium grade iron ore using the IDW and kriging estimation algorithms are presented in Tables 5 and 6, respectively.

The deposit contains 34,405,668 tonnes of iron ore with an average Fe grade of 29.22%, yielding approximately 10,051,658 tonnes of extractable iron, according to the IDW method. Of the total resource, 93.68% falls into the measured category, while only 6.32% is classified as Indicated, which typically has a lower geological confidence than Measured.

Although the total volume and tonnage figures for the high-grade orebody were quite similar to the IDW method (34,405,668 tonnes of ore and 10,080,834 tonnes of extractable iron content), the average Fe grade estimated by kriging was slightly higher at 29.30%.

Table 4. Parameter values of the search ellipsoid used by the estimation algorithms for the medium grade orebody

Category	Axis-1 (m)	Axis-2 (m)	Axis-3 (m)	Azimuth (°)	Plunge (°)	Rotation (°)
Measured	200.00	50.00	100.00			
Indicated	400.00	100.00	200.00	105.59	3.41	19.72
Inferred	600.00	150.00	300.00			

VII. GRADE ASSIGNMENT FOR THE LOW GRADE OREBODY

The parameter values of the search ellipsoid generated by the semivariogram analysis are listed in Table 7. Due to the same concerns about uncontrolled spatial extent of the orebody, a boundary string was applied to solve this problem. In this way, the low grade orebody was significantly reduced in size. Modeling was continued in the same way as in previous approaches.

The tonnage calculated based on grade ranges of the low grade iron ore using the IDW and kriging estimation algorithms are presented in Tables 8 and 9, respectively.

The deposit contains 38,666,815 tonnes of iron ore with an average Fe grade of 10.80%, yielding approximately 4,175,225 tonnes of extractable iron, according to the IDW method. Of the total resource, 83.35% falls into the measured category, while only 16.65% is classified as Indicated, which typically has a lower geological confidence than Measured.

Although the total volume and tonnage figures for the high-grade orebody were quite similar to the IDW method (38,666,815 tonnes of ore and 4,698,803 tonnes of extractable iron content), the average Fe grade estimated by kriging was slightly higher at 12.15%.

Table 7. Parameter values of the search ellipsoid used by the estimation algorithms for the low grade orebody

Category	Axis-1 (m)	Axis-2 (m)	Axis-3 (m)	Azimuth (°)	Plunge (°)	Rotation (°)
Measured	250.00	120.00	140.00			
Indicated	500.00	240.00	280.00	294.70	1.71	-19.93
Inferred	750.00	360.00	420.00			

Table 5. Estimated tonnage of resources by the IDW algorithm for the medium grade orebody

From Fe% (%)	To Fe% (%)	Volume (m³)	Density (t/m³)	Tonnage (t)	Fe % (%)	Iron content (t)	Cumulative					Resource type
							Volume (m³)	Tonnage (t)	Density (t/m³)	Fe% (%)	Iron content (t)	
60	70	0	0.00	0	0.00	0	0	0	0.00	0.00	0	Indicated
50	60	0	0.00	0	0.00	0	0	0	0.00	0.00	0	Indicated
40	50	776	2.65	2056	40.98	843	776	2056	2.65	40.98	843	Indicated
30	40	119,019	2.65	315,400	32.14	101,364	119,795	317,457	2.65	32.20	102,207	Indicated
20	30	700,492	2.65	1856,304	27.17	504,357	820,287	2,173,761	2.65	27.90	606,564	Indicated
10	20	0	0.00	0	0.00	0	820,287	2,173,761	2.65	27.90	606,564	Indicated
0	10	0	0.00	0	0.00	0	820,287	2,173,761	2.65	27.90	606,564	Indicated
60	70	0	0.00	0	0.00	0	0	0	0.00	0.00	0	Measured
50	60	0	0.00	0	0.00	0	0	0	0.00	0.00	0	Measured
40	50	18,748	2.65	49,682	41.40	20,566	18,748	49,682	2.65	41.40	20,566	Measured
30	40	4,030,783	2.65	10,681,575	33.00	3,524,524	4,049,531	10,731,257	2.65	33.04	3,545,091	Measured
20	30	8,113,353	2.65	21,500,385	27.44	5,899,951	12,162,884	32,231,643	2.65	29.30	9,445,042	Measured
10	20	100	2.65	265	19.70	52	12,162,984	32,231,908	2.65	29.30	9,445,094	Measured
0	10	0	0.00	0	0.00	0	12,162,984	32,231,908	2.65	29.30	9,445,094	Measured
60	70	0	0.00	0	0.00	0	0	0	0.00	0.00	0	TOTAL
50	60	0	0.00	0	0.00	0	0	0	0.00	0.00	0	TOTAL
40	50	19,524	2.65	51,739	41.38	21,409	19,524	51,739	2.65	41.38	21,409	TOTAL
30	40	4,149,802	2.65	10,996,975	32.97	3,625,888	4169,326	11,048,714	2.65	33.01	3,647,297	TOTAL
20	30	8,813,845	2.65	23,356,689	27.42	6,404,308	12,983,171	34,405,403	2.65	29.22	10,051,606	TOTAL
10	20	100	2.65	265	19.70	52	12,983,271	34,405,668	2.65	29.22	10,051,658	TOTAL
0	10	0	0.00	0	0.00	0	12,983,271	34,405,668	2.65	29.22	10,051,658	TOTAL

Table 6. Estimated tonnage of resources by the kriging algorithm for the medium grade orebody

From Fe% (%)	To Fe% (%)	Volume (m³)	Density (t/m³)	Tonnage (t)	Fe % (%)	Iron content (t)	Cumulative					Resource type
							Volume (m³)	Tonnage (t)	Density (t/m³)	Fe% (%)	Iron content (t)	
60	70	0	0.00	0	0.00	0	0	0	0.00	0.00	0	Indicated
50	60	0	0.00	0	0.00	0	0	0	0.00	0.00	0	Indicated
40	50	3711	2.65	9834	41.47	4078	3711	9834	2.65	41.47	4078	Indicated
30	40	101,794	2.65	269,754	31.61	85,267	105,505	279,588	2.65	31.96	89,346	Indicated
20	30	714,782	2.65	1,894,172	28.23	534,687	820,287	2,173,761	2.65	28.71	624,033	Indicated
10	20	0	0.00	0	0.00	0	820,287	2,173,761	2.65	28.71	624,033	Indicated
0	10	0	0.00	0	0.00	0	820,287	2,173,761	2.65	28.71	624,033	Indicated
60	70	0	0.00	0	0.00	0	0	0	0.00	0.00	0	Measured
50	60	0	0.00	0	0.00	0	0	0	0.00	0.00	0	Measured
40	50	34,851	2.65	92,355	41.08	37,940	34,851	92,355	2.65	41.08	37,940	Measured
30	40	4,818,023	2.65	12,767,761	33.08	4,224,146	4,852,874	12,860,116	2.65	33.14	4,262,086	Measured
20	30	7,309,225	2.65	19,369,446	26.82	5,194,272	12,162,099	32,229,562	2.65	29.34	9,456,357	Measured
10	20	885	2.65	2345	18.92	444	12,162,984	32,231,908	2.65	29.34	9,456,801	Measured
0	10	0	0.00	0	0.00	0	12,162,984	32,231,908	2.65	29.34	9,456,801	Measured
60	70	0	0.00	0	0.00	0	0	0	0.00	0.00	0	TOTAL
50	60	0	0.00	0	0.00	0	0	0	0.00	0.00	0	TOTAL
40	50	38,562	2.65	102,189	41.12	42,018	38,562	102,189	2.65	41.12	42,018	TOTAL
30	40	4,919,817	2.65	13,037,515	33.05	4,309,413	4,958,379	13,139,704	2.65	33.12	4,351,431	TOTAL
20	30	8,024,007	2.65	21,263,619	26.94	5,728,959	12,982,386	34,403,323	2.65	29.30	10,080,390	TOTAL
10	20	885	2.65	2345	18.92	444	12,983,271	34,405,668	2.65	29.30	10,080,834	TOTAL
0	10	0	0.00	0	0.00	0	12,983,271	34,405,668	2.65	29.30	10,080,834	TOTAL

Table 8. Estimated tonnage of resources by the IDW algorithm for the low grade orebody

From Fe% (%)	To Fe% (%)	Volume (m ³)	Density (t/m ³)	Tonnage (t)	Fe % (%)	Iron content (t)	Cumulative					Resource type
							Volume (m ³)	Tonnage (t)	Density (t/m ³)	Fe% (%)	Iron content (t)	
60	70	0	0.00	0	0.00	0	0	0	0.00	0.00	0	Indicated
50	60	0	0.00	0	0.00	0	0	0	0.00	0.00	0	Indicated
40	50	0	0.00	0	0.00	0	0	0	0.00	0.00	0	Indicated
30	40	0	0.00	0	0.00	0	0	0	0.00	0.00	0	Indicated
20	30	0	0.00	0	0.00	0	0	0	0.00	0.00	0	Indicated
10	20	769,854	2.65	2,040,113	10.34	210,873	769,854	2,040,113	2.65	10.34	210,873	Indicated
0	10	1,659,736	2.65	4,398,300	9.30	408,917	2,429,590	6,438,414	2.65	9.63	619,791	Indicated
60	70	0	0.00	0	0.00	0	0	0	0.00	0.00	0	Measured
50	60	0	0.00	0	0.00	0	0	0	0.00	0.00	0	Measured
40	50	0	0.00	0	0.00	0	0	0	0.00	0.00	0	Measured
30	40	6467	2.65	17,138	31.54	5406	6467	17,138	2.65	31.54	5406	Measured
20	30	76,171	2.65	201,853	24.11	48,672	82,638	218,991	2.65	24.69	54,078	Measured
10	20	7,825,218	2.65	20,736,828	13.97	2,896,717	7,907,856	20,955,818	2.65	14.08	2,950,795	Measured
0	10	4,253,805	2.65	11,272,583	5.36	604,639	12,161,661	32,228,402	2.65	11.03	3,555,434	Measured
60	70	0	0.00	0	0.00	0	0	0	0.00	0.00	0	TOTAL
50	60	0	0.00	0	0.00	0	0	0	0.00	0.00	0	TOTAL
40	50	0	0.00	0	0.00	0	0	0	0.00	0.00	0	TOTAL
30	40	6467	2.65	17,138	31.54	5406	6467	17,138	2.65	31.54	5406	TOTAL
20	30	76,171	2.65	201,853	24.11	48,672	82,638	218,991	2.65	24.69	54,078	TOTAL
10	20	8,595,072	2.65	22,776,941	13.64	3,107,590	8,677,710	22,995,932	2.65	13.75	3,161,668	TOTAL
0	10	5,913,541	2.65	15,670,884	6.47	1,013,557	14,591,251	38,666,815	2.65	10.80	4,175,225	TOTAL

Table 9. Estimated tonnage of resources by the kriging algorithm for the low grade orebody

From Fe% (%)	To Fe% (%)	Volume (m ³)	Density (t/m ³)	Tonnage (t)	Fe % (%)	Iron content (t)	Cumulative					Resource type
							Volume (m ³)	Tonnage (t)	Density (t/m ³)	Fe% (%)	Iron content (t)	
60	70	0	0.00	0	0.00	0	0	0	0.00	0.00	0	Indicated
50	60	0	0.00	0	0.00	0	0	0	0.00	0.00	0	Indicated
40	50	0	0.00	0	0.00	0	0	0	0.00	0.00	0	Indicated
30	40	0	0.00	0	0.00	0	0	0	0.00	0.00	0	Indicated
20	30	0	0.00	0	0.00	0	0	0	0.00	0.00	0	Indicated
10	20	2,350,449	2.65	6,228,690	11.94	743,396	2,350,449	6,228,690	2.65	11.94	743,396	Indicated
0	10	79,141	2.65	209,724	9.44	19,795	2,429,590	6,438,414	2.65	11.85	763,191	Indicated
60	70	0	0.00	0	0.00	0	0	0	0.00	0.00	0	Measured
50	60	0	0.00	0	0.00	0	0	0	0.00	0.00	0	Measured
40	50	0	0.00	0	0.00	0	0	0	0.00	0.00	0	Measured
30	40	7407	2.65	19,629	31.84	6251	7407	19,629	2.65	31.84	6251	Measured
20	30	177,367	2.65	470,023	21.89	102,877	184,774	489,651	2.65	22.29	109,128	Measured
10	20	8,258,290	2.65	21,884,469	15.17	3,320,285	8,443,064	22,374,120	2.65	15.33	3,429,413	Measured
0	10	3,718,597	2.65	9,854,282	5.14	506,198	12,161,661	32,228,402	2.65	12.21	3,935,611	Measured
60	70	0	0.00	0	0.00	0	0	0	0.00	0.00	0	TOTAL
50	60	0	0.00	0	0.00	0	0	0	0.00	0.00	0	TOTAL
40	50	0	0.00	0	0.00	0	0	0	0.00	0.00	0	TOTAL
30	40	7407	2.65	19,629	31.84	6251	7407	19,629	2.65	31.84	6251	TOTAL
20	30	177,367	2.65	470,023	21.89	102,877	184,774	489,651	2.65	22.29	109,128	TOTAL
10	20	10,608,739	2.65	28,113,158	14.45	4,063,681	10,793,513	28,602,809	2.65	14.59	4,172,809	TOTAL
0	10	3,797,738	2.65	10,064,006	5.23	525,993	14,591,251	38,666,815	2.65	12.15	4,698,803	TOTAL

VIII. COMBINING THE OREBODIES

In the approaches presented above, grades were assigned to blocks in three separate ore bodies — high, medium and low grade – using IDW and kriging methods. However, as not all ore bodies could be included in the design during the planning phase of the open pit, the ore bodies were combined into one.

The data on volume, tonnage, density and iron content of the combined orebody can be found in Table 10. The block model of the combined orebody is shown in Figure 7. The total volume of the combined orebody is 30,374,815 m³. With a grade-weighted density of 3.29 t/m³, the mass of the orebody reaches 99,988,131 tonnes. The average grade is 26.14% Fe and the mineable iron content is 26,132,549 tonnes.

It should be remembered that the mass of the individual orebodies amounts to a total of 81,225,648 tonnes. The difference is due to the fact that when calculating the tonnage of the individual orebodies, the ore density was assumed to be 2.65 t/m³, regardless of the grade, which could mislead the planner. In contrast, when calculating the tonnage of the combined ore body, the density of each block was assigned a unique value based on the Equation 1. Nevertheless, the volume of the combined orebody and the sum of the volumes of the individual orebodies are very close to each other with a difference of 276,373 m³, which corresponds to a value of only 0.91%.

$$\text{Density} = 0.036 \cdot \text{Grade} + 2.4327 \quad (1)$$

The majority of the ore (~90%) belongs to the measured category. The average grade of this category is also higher than that of the indicated category, with the ore concentrated in the 10% to 40% iron range. Similarly, the ore in the indicated category contains between 10% and 30% iron.

When evaluating the resource as a whole, the largest portion falls within the 10%-40% Fe grade range. This trend is also observed within the measured category. However, the measured resources are most concentrated in the broader 20%–60% Fe range, indicating that a significant portion of high-confidence resources are of medium grade. Overall, the deposit can be classified as hosting a medium-grade iron ore resource. Additionally, there is a clear decrease in resource tonnage as the Fe grade increases from lower to higher ranges.

IX. CONCLUSIONS

Estimation is at the heart of a mining plan and engineers must be careful because we collect drill hole data to estimate the qualities of deposits and we estimate drillhole samples to design and plan mineable deposits. This means that selecting an appropriate method for just that type of deposit will lead us to a true estimate.

We can see the effectiveness of the two techniques. Kriging estimates the average grade of the high-grade orebody slightly lower (57.11%) compared to IDW (58.02%). Thus, Kriging shows a tendency to smooth the grade distributions compared to IDW. While the IDW estimate of the average iron grade in medium and low grade ore bodies was 29.22% and 10.80% respectively, Kriging estimated a slightly higher iron grade of 29.30% and 12.15% in medium and low grade orebodies.

Kriging provides more realistic estimates than IDW because Kriging takes into account not only the distance between sample points but also the change in values with distance, whereas IDW estimates values based only on nearby sample points, which can lead to over- or underestimates. To be selective, we opted to proceed with kriging and combined all three ore bodies, resulting in a total resource of 99.99 million tonnes and an average Fe grade of 26.14%, highlighting the dominance of medium-grade ore in the deposit. The study also highlights the need for density adjustments based on grade to avoid tonnage discrepancies. These results provide a solid foundation for future mining planning, optimizing resource extraction and maximizing economic returns.

REFERENCES

- [1] Kaydım, H. E. (2022). Long-term production scheduling optimization for a polymetallic open pit mine. Master of Science Thesis, Middle East Technical University, Ankara.
- [2] Osanloo, M., Gholamnejad, J. & Karimi, B. (2008). Long-term open pit mine production planning: a review of models and algorithms. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 22(1), 3-35.
- [3] Karaöz, B. (2014). A proposal on integer programming for mine planning and scheduling: Kar mining example (In Turkish). Master Thesis, Hacettepe University, Ankara.
- [4] Lerchs, H. & Grossmann, F. (1965). Optimum design of open-pit mines. *Transaction CIM*, 58, 47-54.
- [5] Oz, B. & Deutsch, C. V. (2000). Cross validation for selection of variogram model and kriging type: application to IP data from West Virginia. Report to Mining Firm.

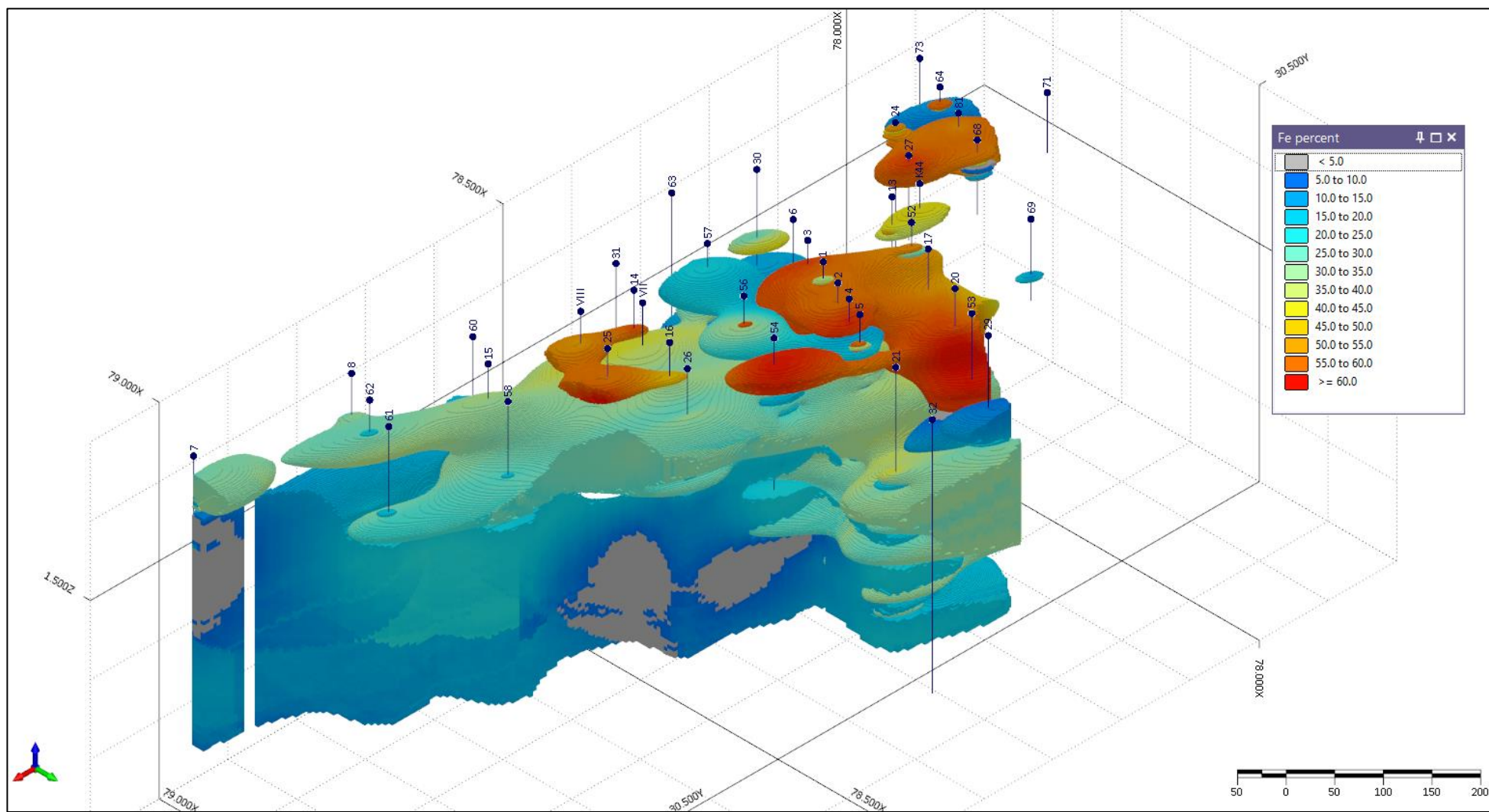


Fig. 7 The combined orebody

Table 10. Estimated tonnage of resources for the combined orebody

From Fe% (%)	To Fe% (%)	Volume (m ³)	Density (t/m ³)	Tonnage (t)	Fe % (%)	Iron content (t)	Cumulative					Resource type
							Volume (m ³)	Tonnage (t)	Density (t/m ³)	Fe% (%)	Iron content (t)	
60	70	0	0.00	0	0.00	0	0	0	0.000	0.00	0	Indicated
50	60	5135	4.38	22,474	54.01	12,138	5135	22,474	4.38	54.01	12,138	Indicated
40	50	3711	3.93	14,568	41.48	6042	8846	37,042	4.19	49.08	18,180	Indicated
30	40	101,648	3.57	362,954	31.65	114,870	110,494	399,996	3.62	33.26	133,050	Indicated
20	30	666,557	3.45	2,299,018	28.25	649,399	777,051	2,699,014	3.47	28.99	782,449	Indicated
10	20	2,350,449	2.86	6,727,834	11.94	803,391	3,127,500	9,426,848	3.01	16.82	1,585,840	Indicated
0	10	79,141	2.77	219,418	9.44	20,716	3,206,641	9,646,266	3.01	16.65	1,606,556	Indicated
60	70	321,152	4.62	1,484,437	60.82	902,891	321,152	1,484,437	4.62	60.82	902,891	Measured
50	60	2,680,920	4.48	12,006,282	56.86	6,826,731	3,002,072	13,490,718	4.49	57.30	7,729,622	Measured
40	50	71,524	4.04	,288,814	44.72	129,146	3,073,596	13,779,533	4.48	57.03	7,858,768	Measured
30	40	4,778,294	3.62	17,317,114	33.15	5,740,160	7,851,890	31,096,647	3.96	43.73	13,598,928	Measured
20	30	7,336,868	3.39	24,903,239	26.76	6,664,327	15,188,758	55,999,887	3.69	36.18	20,263,255	Measured
10	20	8,260,819	2.98	24,608,083	15.25	3,751,926	23,449,577	80,607,969	3.44	29.79	24,015,181	Measured
0	10	3,718,597	2.62	9,733,896	5.25	510,812	27,168,174	90,341,865	3.33	27.15	24,525,993	Measured
60	70	321,152	4.62	1,484,437	60.82	902,891	321,152	1,484,437	4.62	60.82	902,891	TOTAL
50	60	2,686,055	4.48	12,028,755	56.85	6,838,869	3,007,207	13,513,192	4.49	57.29	7,741,760	TOTAL
40	50	75,235	4.03	303,382	44.56	135,188	3,082,442	13,816,574	4.48	57.01	7,876,948	TOTAL
30	40	4,879,942	3.62	17,680,069	33.12	5,855,030	7,962,384	31,496,643	3.96	43.60	13,731,978	TOTAL
20	30	8,003,425	3.40	27,202,258	26.89	7,313,727	15,965,809	58,698,901	3.68	35.85	21,045,705	TOTAL
10	20	10,611,268	2.95	31,335,917	14.54	4,555,317	26,577,077	90,034,817	3.39	28.43	25,601,021	TOTAL
0	10	3,797,738	2.62	9,953,314	5.34	531,528	30,374,815	99,988,131	3.29	26.14	26,132,549	TOTAL

Bir Toptancı Firmasında Personel Seçimi İçin Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Uygulanması

Buğrahan YOLBİLİR, İbrahim Ethem ERTÜRK, Emre GÖKBULUT, Eren Batu GÜNAYDIN,

Hacı Mehmet ALAKAŞ*

Endüstri Mühendisliği / Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Kırıkkale Üniversitesi, TÜRKİYE

*hmalagas@gmail.com

Özet – Günümüzün yoğun rekabet ortamında, doğru personelin doğru pozisyona yerleştirilmesi hem işletmenin verimliliği hem de uzun vadeli başarısı açısından büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, yalnızca özgeçmiş ve mülakat gibi geleneksel yöntemlere dayanan işe alım süreçleri, karar vericilerin değerlendirmelerinde öznel hatalara yol açabilmektedir. Bu tür subjektif yargıları en aza indirmek ve seçim sürecine sistematik bir yapı kazandırmak amacıyla, çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemleri etkin birer araç olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışmada, bir toptancı firmasında personel seçimi süreci çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerinden Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) ve İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Sıralama (TOPSIS) yöntemleriyle değerlendirilmiştir. Çalışmanın amacı, işletmeye en uygun personelin sistematik ve objektif biçimde belirlenmesini sağlamaktır. Bu kapsamda; iş tecrübesi, pazarlama ve satış becerileri, network ve bireysel özellikler olmak üzere dört temel kriter ve alt kriterler uzman görüşleriyle belirlenerek AHP yöntemiyle ağırlıklandırılmıştır. Sonuçlara göre en yüksek ağırlık %57 ile pazarlama ve satış becerilerine verilmiştir. AHP ile elde edilen kriter ağırlıkları, beş adayın değerlendirilmesinde TOPSIS yöntemine entegre edilmiştir. Analiz sonucunda A.D, 0,9780'lik P skoru ile ideal çözüme en yakın aday olarak belirlenmiştir. Sonuçlar incelendiği zaman özellikle satış ve müşteri ilişkileri gibi becerilerin personel seçimi sürecinde öncelikli olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak, AHP ve TOPSIS gibi yöntemlerin işe alım süreçlerinde karar vericilere bilimsel ve güvenilir destek sağladığı görülmektedir.

Anahtar Kelimeler – Çok Kriterli Karar Verme, Personel Seçimi, AHP, TOPSIS.

I. GİRİŞ

İnsan kaynakları yönetimi, işletmelerin stratejik hedeflerine ulaşmasında kritik bir rol oynamaktadır. Rekabetin giderek yoğunlaştığı günümüz iş dünyasında, doğru işe doğru personelin yerleştirilmesi hem operasyonel verimliliği hem de kurumsal sürdürülebilirliği doğrudan etkilemektedir [1].

Özellikle personel seçimi süreci, yalnızca iş gücü ihtiyacını karşılamaktan öte, kuruma uzun vadeli değer katacak bireylerin belirlenmesini amaçlayan stratejik bir adımdır. Bu süreçte kullanılan seçim araçlarının bilimsel geçerliliğe ve güvenilirliğe sahip olması, insan kaynağının niteliğini doğrudan etkilemektedir. Literatürde, çok kriterli karar verme yöntemleri ve psikometrik değerlendirmeler gibi bilimsel tekniklerin etkin biçimde kullanıldığı personel seçim süreçlerinin, karar alma kalitesini artırdığı ve işe alım sonrası performansı olumlu yönde etkilediği ifade edilmektedir ([2], [3]).

Literatürdeki çalışmalara göz atıldığı zaman çok kriterli karar verme yöntemlerinin uygulama alanının geniş olduğunu ve birçok yöntemin bir arada kullanıldığını görmekteyiz. Çalışma kapsamında hazırlanan özet literatür Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Özet Literatür Tablosu

Yazarlar	Kullanılan Yöntemler	Uygulama Alanı
İçigen ve Çetin [15]	AHP ve TOPSIS	Konaklama Sektörü (Personel Seçimi)
Karakul ve Akpınar [11]	AHP ve TOPSIS	Personel Seçimi (COVID-19 Dönemi)
Ada ve Çakır [17]	AHP ve TOPSIS	Personel Seçimi
Ersoy [20]	AHP ve TOPSIS	Tekstil Sektörü (Personel Seçimi)
Aykan ve Çataltepe [14]	AHP ve TOPSIS	Kamu Sektörü (İnsan Kaynakları Uzman Yardımcısı Seçimi)
Öztürk ve Keleş [13]	AHP ve TOPSIS	İlaç Sektörü (Motorlu Kurye Seçimi)
Özcan vd. [16]	AHP, GRA ve TOPSIS	Ulaşım Sektörü (Metro Sürücüsü Seçimi)
Akin [18]	Bulanık TOPSIS	Personel Seçimi (Belirsizlik Ortamı)
Çetiner Karakaş [19]	Nötrosofik AHP ve TOPSIS	Personel Seçimi (Belirsizlik Ortamı)
Taş ve Karataş [12]	Nötrosofik AHP ve TOPSIS	Yazılım Sektörü (Nitelikli Personel Seçimi)
Taş vd. [6]	AHP ve TOPSIS	Sağlık Sektörü (Poliklinik Değerlendirmesi)
Değermenci ve Ayvaz [8]	Bulanık TOPSIS	Bankacılık Sektörü (Personel Seçimi)

Tabloya göz attığımız zaman birden fazla sektörde çok kriterli karar verme yönteminin personel seçimi açısından kullanıldığını görmekteyiz. Bir yöntemden ziyade birden fazla yöntemin kullanılarak sonuçların daha tutarlı bulunması ve yorumlanması açısından katkı sağladığı bu tablo vasıtasıyla yorumlanabilmektedir. Yine ilgili tabloyu incelediğimiz zaman, literatürde en çok AHP ve TOPSIS yöntemlerinin bir arada kullanıldığını söyleyebiliriz. Bu çalışma kapsamında da AHP ve TOPSIS yöntemleri bir arada kullanılarak personel seçim problemi üzerinde durulacaktır. Uygulama alanı olarak bir toptancı firmasında ilgili çalışma gerçekleştirileceği için uygulama alanı bakımından literatüre katkı sağlanması hedeflenmektedir.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Bir problemin çözüm hedefini etkileyen çok sayıda ölçütün ve her birinin kendine özgü avantaj ve dezavantajlara sahip olduğu seçeneklerin varlığı, karar verme süreçlerini karmaşık bir yapıya büründürmekte ve alınan kararların isabetliliğinin ölçülmesini güçleştirmektedir. Karar süreçlerinde karşılaşılan bu tür zorlukların üstesinden gelmek amacıyla çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemler, birden fazla ve birbiriyle çelişebilen kriteri eş zamanlı olarak dikkate alarak en rasyonel tercihin yapılmasını sağlamakta ve günlük hayatın pek çok alanında uygulama bulmaktadır.

Örneğin, bir adayın işe girme sürecinde adayın eğitim seviyesi, alanındaki teknik bilgisi, önceki staj veya iş tecrübeleri ve iletişim becerileri gibi faktörler aynı zamanda değerlendirilir. Benzer şekilde, bir firma için tedarikçi seçiminde firmanın geçmiş çalışma portföyü, referansları, ürününün kalitesi ve teslimat performansı gibi tedarikçiyle alakalı kriterler analiz edilerek seçim yapılır.

Kişisel düzeyde alınan kararlarda seçimin doğruluğu görece daha az kritik olabilirken, yukarıdaki örneklerde olduğu gibi kurumsal veya stratejik düzeydeki tercihler daha verimli sonuçların bulunmasına yüksek oranda katkı sağlar. ÇKKV yöntemlerinde karar sürecine birden fazla uzman veya paydaşın katılımına olanak tanınması hem nicel (ölçülebilir) hem de nitel (ölçülemeyen) verileri, aynı zamanda subjektif ve objektif görüşleri bir arada analiz edebilmesi gibi üstünlükler sunar. Bu nedenlerle ÇKKV metotlarının kullanımı, alınan kararların sistematik bir çerçevede değerlendirilmesine imkân tanınması

açısından büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada kullanılan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) ve İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Sıralama (TOPSIS) yöntemleri ise takip eden alt başlıklarda açıklanmaktadır.

A. AHP Yöntemi

Thomas L. Saaty tarafından 20. yüzyılda geliştirilen bu yöntem, karar vericilerin birden fazla ve birbiriyle çelişen kritere sahip karmaşık problemleri daha yönetilebilir ve anlaşılır bir yapıya dönüştürmesine olanak tanıyan bir çok kriterli karar verme yöntemidir. Bu yöntem, temel olarak büyük ve karmaşık bir sorunu ana hedef, kriterler, alt kriterler ve alternatifler şeklinde hiyerarşik bir düzene ayırma prensibine dayanır ([4], [5], [6]).

B. TOPSIS Yöntemi

Hwang ve Yoon tarafından 20. yüzyılda geliştirilen bu yöntem, alternatiflerin ideal çözüme yakınlığını değerlendirir. Bu yöntemde ideal çözüme yakınlığın belirlenebilmesi için pozitif ideal ve negatif ideal çözüm adında iki referans noktası tanımlanarak hesaplamalar yapılır. Böylelikle alternatifler arasından en uygun seçeneği belirleme konusunda karar vericilere sıralamayı gösteren tek ve anlaşılır bir skor sunduğu için oldukça pratiktir ([7], [8]).

III. BULGULAR

A. Kriterlerin Belirlenmesi

Bu çalışmada personel seçim sürecinde kullanılmak üzere kriterlerin belirlenmesi için iki akademisyen ve bir insan kaynakları uzmanından oluşan bir uzman grubu oluşturulmuştur. Oluşturulan uzman grubuyla yüz yüze grup görüşme tekniğinin gerçekleştirilmesiyle dört temel kriter belirlenmiştir: Pazarlama ve Satış Becerileri, İş Tecrübesi, Network ve Bireysel Özellikler. Belirlenen her bir temel kriter, kendi içerisinde alt kriterlere ayrılarak detaylandırılmıştır. İş Tecrübesi kriteri altında; yıllık deneyim süresi, gıda toptancılığına dair bilgi düzeyi ve ürün iade konusundaki deneyim gibi alt unsurlar dikkate alınmıştır. Pazarlama ve Satış Becerileri kriteri dijital pazarlama yetkinliği, pazar araştırması yapabilme becerisi ve müşteri ilişkileri yönetimi gibi alt başlıklardan oluşmaktadır. Network kriteri kapsamında; adayın çalıştığı işletme sayısı, sahip olduğu satış alanları bilgisi, ürün bilgisi ve tüketici taleplerine yönelik farkındalığı değerlendirilmiştir. Son olarak Bireysel Özellikler kriteri altında insan ilişkileri, ekip çalışmasına yatkınlık ve sabırlılık gibi nitelikler analiz edilmiştir. Bu kapsamda yapılan detaylı alt kriterlendirme, adayların değerlendirme sürecine daha fazla nesnellik ve derinlik kazandırmıştır.

B. Kriterlerin Ağırlıklandırılması

Kriterlerin ağırlıklandırılmasında AHP yöntemi kullanılmıştır. AHP yöntemindeki adımların işletilip sayısal değerlerin ve matrislerin eldesi için Microsoft Excel programı kullanılmıştır. Ana kriterlere ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmuş ve önem ağırlıkları hesaplanmıştır. Oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi Tablo 2’de verilmiştir:

Tablo 2. Ana Kriterlerin İkili Karşılaştırma Matrisi

Kriterler	İş Tecrübesi	Pazarlama	Network	Bireysel Özellikler
İş Tecrübesi	1	0.333	2	8
Pazarlama	3	1	5	9
Network	0.5	0.2	1	2
Bireysel Özellikler	0.125	0.111	0.5	1

Daha sonra ikili karşılaştırma matrisi normalize edilmiştir. Sonraki işlemde satırların aritmetik ortalaması alınmış ve kriterlerin önem ağırlıkları hesaplanmıştır. Hesaplama sonucunda bulunan önem ağırlıkları Tablo 3’te verilmiştir:

Tablo 3. Ana Kriterlerin Önem Ağırlıkları

Kriterler	Önem Ağırlıkları
İş Tecrübesi	0.264
Pazarlama	0.574
Network	0.112
Bireysel Özellikler	0.050

Ana kriter ağırlıklarının bulunmasıyla beraber ana kriterler için gerçekleştirilen işlem adımları ana kriterlere ait alt kriterler için de gerçekleştirilmiştir. Öncelikle her bir ana kritere ait alt kriterler için ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmuş olup tablolar halinde Tablo 4-7 olarak aşağıda verilmiştir:

Tablo 4. İş Tecrübesi Alt Kriterlerinin İkili Karşılaştırmaları

Kriterler	Yıllık D.	Gıda	Ürün İade
Yıllık D.	1	2	3
Gıda	0.5	1	2
Ürün İade	0.333	0.5	1

Tablo 5. Pazarlama ve Satış Becerisi Alt Kriterlerinin İkili Karşılaştırmaları

Kriterler	Dijital	Pazar	Müşteri
Dijital	1	0.5	0.333
Pazar	2	1	0.5
Müşteri	3	2	1

Tablo 6. Network Alt Kriterlerinin İkili Karşılaştırmaları

Kriterler	İşletme S.	Satış A.	Ürün B.	Tüketici T.
İşletme S.	1	5	7	4
Satış A.	0.2	1	2	3
Ürün B.	0.142	0.2	1	2
Tüketici T.	0.25	0.333	0.5	1

Tablo 7. Bireysel Özellikler Alt Kriterlerinin İkili Karşılaştırmaları

Kriterler	İnsan	Ekip	Sabırlılık
İnsan	1	2	6
Ekip	0.5	1	4
Sabırlılık	0.166	0.25	1

Daha sonra her bir ana kriterin alt kriterleri için ikili karşılaştırma matrisleri normalize edilmiştir. Sonraki işlemde satır aritmetik ortalamaları alınmış ve kriterlerin önem ağırlıkları hesaplanmıştır. Hesaplanan önem ağırlıkları ana kriter ağırlıkları ile çarpılmıştır. Hesaplama sonucunda bulunan önem ağırlıkları Tablo 8’de birleşik şekilde verilmiştir:

Tablo 8. Alt Kriterlere Ait Önem Ağırlıkları

Ana Kriterler	Alt Kriterler	Alt Kriter Ağırlıkları	Global Önem Ağırlıkları
İş Tecrübesi	Yıllık Deneyim Süresi	0.539	0.143
	Gıda Toptancılığı	0.297	0.079
	Ürün İade	0.164	0.044
Pazarlama	Dijital Pazarlama Yetkinliği	0.164	0.094
	Pazar Araştırması	0.297	0.171
	Müşteri İlişkileri Yönetimi	0.539	0.310
Network	İşletme Sayısı	0.615	0.069
	Satış Alanları Bilgisi	0.192	0.022
	Ürün Bilgisi	0.104	0.012
	Tüketici Talep Farkındalığı	0.089	0.010
Bireysel Özellikler	İnsan İlişkileri	0.587	0.030
	Ekip Çalışmasına Yatkınlık	0.324	0.017
	Sabırlılık	0.089	0.005

Bulunan alt kriterlerin ağırlıkları oluşturulan her bir ikili karşılaştırma matrisi için ilgili değerlerle çarpılarak toplamı alınmıştı ve kriter toplamaları ve ağırlıklarının oranı alınarak λ değerinin ortalaması alınmıştır. Daha sonra tutarlılık oranları hesaplanıp Tablo 9’da verilmiştir:

Tablo 9. Alt Kriterlerin Tutarlılık Oranları

Ana Kriterler	Alt Kriterler	Tutarlılık Oranı (CR)
İş Tecrübesi	Yıllık Deneyim Süresi	0.001
	Gıda Toptancılığı	
	Ürün İade	
Pazarlama	Dijital Pazarlama Yetkinliği	0.001
	Pazar Araştırması	
	Müşteri İlişkileri Yönetimi	
Network	İşletme Sayısı	0.030
	Satış Alanları Bilgisi	
	Ürün Bilgisi	
	Tüketici Talep Farkındalığı	
Bireysel Özellikler	İnsan İlişkileri	0.001
	Ekip Çalışmasına Yatkınlık	
	Sabırlılık	

Tablo 11’deki tutarlılık oranlarına göz atıldığı zaman hepsinin 0 ile 0.1 arasında değer aldığını görmekteyiz. Bu da bize alt kriterler için yapılan ikili karşılaştırmaların tutarlı olduğunu göstermektedir.

C. Alternatiflerin Belirlenmesi

Alternatiflerin belirlenmesi için bu çalışma kapsamında oluşturulan uzman grubuyla yüz yüze grup görüşmeleri gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen görüşmeler sonucunda işletmeden alınan CV’ler doğrultusunda beş adayın değerlendirilmesi kanısına varılmıştır. Uygulama sürecinde, her bir adayın sahip olduğu deneyim, beceri, yatkınlık, network ve bireysel özellikler, önceden tanımlanmış kriter ve alt kriterler doğrultusunda değerlendirilecektir.

D. Alternatiflerin Değerlendirilmesi

Alternatiflerin değerlendirilmesinde TOPSIS yöntemi kullanılmıştır. TOPSIS yöntemindeki adımların işletilip sayısal değerlerin ve matrislerin eldesi için Microsoft Excel programı kullanılmıştır.

Karar matrisinin oluşturulmasında 1-5 puanlandırma skalası kullanılarak çalışmada dikkate alınan adaylar puanlandırılmıştır. Puanlandırmalar yapılırken örneğin 1. sırada değerlendirilen alternatifin iş tecrübesi açısından CV'si göz önünde bulundurularak diğer alternatiflerden ne kadar öne çıktığı değerlendirilerek puanlandırılmıştır. Oluşturulan karar matrisi Tablo 10'da verilmiştir:

Tablo 10. Alternatif Karar Matrisi

Aday	Yıllık Deneyim	Gıda Toptancılığı Hakkındaki Bilgisi	Ürün İade Deneyimi	Dijital pazarlama	Pazar araştırması	Müşteri ilişkileri	İşletme Sayısı
A.D	5	5	5	5	5	5	4
M.C.Y	1	1	1	3	3	3	2
S.K	4	4	4	4	4	4	5
E.Y	2	2	2	5	5	5	4
B.Y	4	4	4	4	4	4	4
Aday	Satış alanları	Ürün bilgisi	Tüketici talepleri	İnsan ilişkileri	Ekip çalışması	Sabırlılık	
A.D	4	4	4	5	5	5	
M.C.Y	2	2	2	4	4	4	
S.K	5	5	5	5	5	5	
E.Y	4	4	4	4	4	4	
B.Y	4	4	4	4	4	4	

Oluşturulan karar matrisi normalize edilerek ağırlıklı normalize karar matrisinin oluşturulması için hazırlanmıştır. Bu aşamada alt kriterlere ait önem ağırlıkları kullanılarak Tablo 11'deki matris elde edilmiştir:

Tablo 11. Alternatif Ağırlıklı Normalize Karar Matrisi

Aday	Yıllık Deneyim	Gıda Toptancılığı Hakkındaki Bilgisi	Ürün İade Deneyimi	Dijital pazarlama	Pazar araştırması	Müşteri ilişkileri	İşletme sayısı
A.D	0,635	0,635	0,635	0,524	0,524	0,524	0,456
M.C.Y	0,127	0,127	0,127	0,314	0,314	0,314	0,228
S.K	0,508	0,508	0,508	0,419	0,419	0,419	0,570
E.Y	0,254	0,254	0,254	0,524	0,524	0,524	0,456
B.Y	0,508	0,508	0,508	0,419	0,419	0,419	0,456
Aday	Satış alanları	Ürün bilgisi	Tüketici talepleri	İnsan ilişkileri	Ekip çalışması	Sabırlılık	
A.D	0,456	0,456	0,456	0,505	0,505	0,505	
M.C.Y	0,228	0,228	0,228	0,404	0,404	0,404	
S.K	0,570	0,570	0,570	0,505	0,505	0,505	
E.Y	0,456	0,456	0,456	0,404	0,404	0,404	
B.Y	0,456	0,456	0,456	0,404	0,404	0,404	

Ağırlıklı normalize karar matrisinin bulunmasıyla beraber pozitif ve negatif ideal değerler hesaplanmıştır. Elde edilen değerler kullanılarak ayırım ölçüleri hesaplanmıştır. Ayırım ölçülerinin hesaplanmasıyla beraber performans skorlarının elde edilmiş ve en iyiden en kötüye doğru sıralanmıştır. Bulunan pozitif ve negatif ayırım ölçüleri, ideale yakınlık değerleri ve alternatif sıralamaları Tablo 12'de verilmiştir.

Tablo 12. Alternatif Sıralama Sonuç Tablosu

Alternatifler	Si*	Si-	Ci*	Sıralama
A.D	0,00053	0,0236	0,97806	1
M.C.Y	0,02364	0	0	5
S.K	0,01083	0,0133	0,55157	3
E.Y	0,00807	0,0212	0,72413	2
B.A	0,01085	0,0133	0,55028	4

IV. TARTIŞMA

Her bir aday, dört alt kriter (Yıllık Deneyim Süresi, Gıda Toptancılığı Hakkında Bilgisi, Ürün İade, Dijital Pazarlama Yetkinliği, Pazar Araştırması, Müşteri İlişkileri Yönetimi, İşletme Sayısı, Satış Alanları Bilgisi, Ürün Bilgisi, Tüketici Talep Farkındalığı, İnsan İlişkileri, Ekip Çalışmasına Yatkınlık, Sabırlılık) kapsamında puanlanmış, bu puanlar öncelikle normalize edilmiştir. Normalize edilen değerler, daha sonra AHP yöntemiyle elde edilen kriter ağırlıkları ile çarpılarak ağırlıklandırılmış karar matrisi oluşturulmuştur. Bu matris üzerinden, her adayın pozitif ideal çözüme (en iyi değerlere) ve negatif ideal çözüme (en düşük değerlere) olan uzaklıkları sırasıyla Si^+ ve Si^- olarak hesaplanmıştır. Son olarak, her aday için göreceli yakınlık değeri (Ci^*) formülü olan $Ci = Si^- / (Si^+ + Si^-)$ ile hesaplanarak, adayların ideal çözüme yakınlık düzeyleri belirlenmiştir. Elde edilen Ci^* skorlarına göre adaylar en uygundan en uygunsuza doğru sıralanmış ve en yüksek değere sahip aday, personel seçiminde tercih edilmesi gereken aday olarak belirlenmiştir.

AHP yöntemi sonucunda en önemli ana kriter 0.574 önem ağırlığı ile Pazarlama ve Satış Becerileri olarak bulunurken en az önemli ana kriter 0.05 önem ağırlığıyla Bireysel Özellikler kriteri olarak bulunmuştur. Alt kriterler bazında incelendiğinde en önemli alt kriter 0.309 ile Müşteri İlişkileri Yönetimi olup, en az önemli alt kriter 0.005 önem ağırlığı ile Sabırlılık olarak bulunmuştur. Alternatiflerin değerlendirilmesindeki en önemli ana kriterin Pazarlama ve Satış Becerileri olduğu anlaşılmaktadır.

TOPSIS yöntemi ile gerçekleştirilen analizde, beş adayın her bir kriter doğrultusunda değerlendirilmesi sonucunda, ideal çözüme en yakın aday belirlenmiştir. Bu kapsamda, A.D'in elde ettiği 0.978 değeri onu pozitif ideal çözüme en yakın ve negatif ideal çözümden en uzak aday konumuna getirmiştir. Bu sonuç, adayın hem pazarlama ve satış yetkinlikleri hem de bireysel özellikler açısından üstün bir performans sergilediğini göstermektedir. İkinci sırada yer alan E.Y 0.724 ve üçüncü sıradaki S.K 0.551 ile yüksek skorlar elde etmiş olmakla birlikte Ayşe Demir'e kıyasla daha az uygun bulunmuştur. En düşük skora sahip olan M.C.Y'nin 0.00 performans puanı almasıyla ideal çözümden tamamen uzak bir profil çizdiği görülmektedir.

V. SONUÇLAR

Bu çalışmada, personel seçim sürecine daha sistematik ve bilimsel bir yaklaşım getirmek amacıyla çok kriterli karar verme yöntemlerinden Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) ve TOPSIS yöntemleri entegre bir şekilde kullanılmıştır. İlk olarak AHP yöntemiyle, personel seçiminde dikkate alınacak temel kriterler ve bu kriterlere ait alt kriterlerin ağırlıkları uzman görüşleri doğrultusunda belirlenmiştir. Daha sonra TOPSIS yöntemiyle seçilen alternatifler değerlendirilerek en iyi alternatif bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar, firmaların özellikle satış ve müşteri ilişkileri alanındaki yetkinlikleri ön planda tuttuğunu göstermektedir. Ayrıca hesaplanan tutarlılık oranlarının kabul edilebilir düzeyde olması, yapılan değerlendirmenin mantıksal tutarlılığını ve güvenilirliğini teyit etmektedir.

Elde edilen bulgular doğrultusunda, personel seçiminde yalnızca özgeçmiş ve mülakat gibi geleneksel yöntemlere değil, çok kriterli karar verme tekniklerine dayalı karar destek sistemlerine de yer verilmesi gerektiği önerilmektedir. İşletmelerin bu tür yöntemleri insan kaynakları süreçlerine entegre etmesi, hem işe alım sürecinin etkinliğini artıracak hem de stratejik insan kaynağı planlamasında daha sağlıklı kararlar alınmasına katkı sağlayacaktır. Ayrıca, gelecekteki çalışmalar kapsamında belirsizliklerin daha etkili

yönetilebilmesi adına bulanık AHP ve bulanık TOPSIS gibi yöntemlerin de uygulanması, modelin esnekliğini ve gerçekçiliğini artıracaktır.

KAYNAKLAR

- [1] D. Ulrich, *Human Resource Champions: The Next Agenda for Adding Value and Delivering Results*. Boston: Harvard Business School Press, 1996.
- [2] A. E. Demirci and H. S. Kılıç, "Personnel selection based on integrated multi-criteria decision making techniques," *International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences*, vol. 31, no. 2, pp. 163–178, Jun. 2019.
- [3] I. T. Robertson and M. Smith, "Personnel selection," *Journal of occupational and Organizational psychology*, vol. 74, no. 4, pp. 441–472, Dec. 2001.
- [4] C. Taş, N. Bedir, T. Eren, H. M. Alağuş, and S. Çetin, "AHP-TOPSIS yöntemleri entegrasyonu ile poliklinik değerlendirilmesi: Ankara'da bir uygulama," *Sağlık Yönetimi Dergisi*, vol. 2, no. 1, pp. 1–17, 2018.
- [5] T. L. Saaty, "Decision making with the analytic hierarchy process," *International Journal of Services Sciences*, vol. 1, no. 1, pp. 83–98, 2008.
- [6] T. L. Saaty, *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. New York: McGraw-Hill, 1980.
- [7] C. L. Hwang and K. Yoon, *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications, A State-of-the-Art Survey*. Springer-Verlag, 1981.
- [8] E. C. Özcan, S. Ünlüsoy, and T. Eren, "A combined goal programming–AHP approach supported with TOPSIS for maintenance strategy selection in hydroelectric power plants," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 78, pp. 1410–1423, 2017.
- [9] A. Değermenci and B. Ayvaz, "Bulanık ortamda TOPSIS yöntemi ile personel seçimi: Katılım bankacılığı sektöründe bir uygulama," *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, vol. 15, no. 30, pp. 77–93, 2016.
- [10] A. Ilgaz, "Lojistik sektöründe personel seçim kriterlerinin AHP ve TOPSIS yöntemleri ile değerlendirilmesi," *Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, vol. 1, no. 32, pp. 586–605, 2018.
- [11] A. K. Karakul and H. Akpınar, "COVID-19 salgın dönemi şartlarında işletmeler için AHP temelli TOPSIS yöntemi ile personel seçimi," *Journal of Business Innovation and Governance*, vol. 5, no. 1, pp. 73–89, 2022.
- [12] A. Taş and P. Ç. Karataş, "Yazılım sektöründe nitelikli personel seçiminin nötrosofik AHP ve TOPSIS yöntemleri ile incelenmesi," *İşletme Araştırmaları Dergisi*, vol. 13, no. 1, pp. 969–979, 2021.
- [13] D. Öztürk and M. K. Keleş, "AHP ve TOPSIS yöntemleri kullanılarak motorlu kurye seçimi: İlaç sektöründe bir uygulama," *Manisa Celal Bayar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, vol. 18, no. 2, pp. 275–291, 2020.
- [14] E. Aykan and O. Çataltepe, "AHP ve TOPSIS yöntemleri ile insan kaynakları uzman yardımcısı seçimi," *Süleyman Demirel Üniversitesi İnsan Kaynakları Yönetimi Dergisi*, vol. 1, no. 1, pp. 41–51, 2022.
- [15] E. T. İçigen and E. İ. Çetin, "AHP temelli TOPSIS yöntemi ile konaklama işletmelerinde personel seçimi," *Balkan Sosyal Bilimler Dergisi*, vol. 7, no. 13, pp. 179–187, 2017.
- [16] İ. Özcan, U. H. İnan, and A. Y. Korkusuz, "Çok kriterli karar verme yöntemleriyle metro sürücüsü seçimi," *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, vol. 15, no. 3, pp. 1185–1202, 2020.
- [17] M. Ada and H. Çakır, "TOPSIS ve AHP çok kriterli karar verme yöntemlerinin personel seçim sürecine uygulanması," *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, vol. 6, no. 2, pp. 186–200, 2022.
- [18] N. G. Akin, "Personel seçiminde çok kriterli karar verme: Bulanık TOPSIS uygulaması," *İşletme Araştırmaları Dergisi*, vol. 8, no. 2, pp. 224–254, 2016.
- [19] P. Çetiner Karakaş, "Aralık değerli nötrosofik AHP ve aralık değerli nötrosofik TOPSIS yöntemleri ile personel seçimi," M.S. thesis, 2019.
- [20] Y. Ersoy, "AHP ve TOPSIS yöntemleri kullanılarak tekstil sektöründe personel seçimi," *Kafdağı*, vol. 6, no. 1, pp. 60–78, 2021.

Machinability Assessment of Al-7Si-Mg Alloy: Influence of Cutting Conditions on Drilling Temperature and Surface Roughness

Cem ALPARSLAN¹, Şenol BAYRAKTAR^{1*}

¹Recep Tayyip Erdoğan University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Mechanical Engineering, 53100, Rize, Türkiye

*(senol.bayraktar@erdogan.edu.tr)

Abstract – This study investigates the effects of different cutting speeds and feed parameters on the surface roughness and drilling temperature of an Al-7Si-Mg alloy during drilling. The alloy was manufactured using the gravity casting method and machined using a total of nine different parameter combinations on a CNC vertical machining center. Temperatures generated during machining were monitored in real time with a thermal camera, post-processing surface roughness was measured, and microstructure-mechanical tests were conducted. Microstructural analyses revealed the presence of eutectic Si phases within the α -Al matrix, as well as intermetallic structures such as β -Al₅FeSi and π -AlSiMgFe. Mechanical tests indicate that the alloy, which was not heat-treated after casting, has acceptable strength and ductility levels. The machinability findings indicate that high cutting speeds reduce surface roughness but increase maximum temperatures in the cutting zone. Increasing feed rates negatively affect surface quality but lower the temperature. The results show that the machinability performance of Al-7Si-Mg alloy is highly sensitive to cutting parameters and these parameters should be carefully selected for optimum surface quality and thermal stability.

Keywords – Al-7Si-Mg, Drilling, Microstructure, Mechanical Properties, Thermal Imaging.

I. INTRODUCTION

Aluminum-based alloys have a wide range of applications in the aerospace, automotive, defense, and electronics sectors thanks to their superior physical and mechanical properties, such as low density, high specific strength, corrosion resistance, and machinability [1, 2]. However, the limited mechanical performance of pure aluminum in structural applications has necessitated the modification of Al-based alloys with various alloying elements. In this context, Al-Si-Mg systems, in particular, are preferred materials in engineering applications due to both their casting behavior and heat treatment applicability [3-5]. The addition of Mg to Al-Si alloys significantly increases mechanical properties such as hardness and tensile strength and allows for a more homogeneous and stronger microstructure to be achieved through heat treatment [6, 7]. The Al-7Si-Mg alloy, by combining these components in optimal proportions, is a material system that stands out in terms of both casting performance and strength. Therefore, this alloy is widely used in automotive applications requiring high strength and thermal conductivity, such as engine blocks, cylinder heads, and suspension components [8, 9].

Cast Al alloys are often subjected to machining operations to ensure final geometric precision and surface quality. In this context, drilling is one of the most widely used machining methods for pre-assembly and structural integration [10-12]. However, the machinability of Al-Si-Mg alloys is directly related to the alloy's microstructure, cutting parameters, and thermal effects occurring during machining. The brittle nature of Si phases complicates chip formation and can negatively affect surface quality [13, 14]. The thermal energy generated during machining is a critical parameter not only in terms of tool wear and surface damage, but also in terms of transformations that may occur in the workpiece microstructure. Therefore, in recent years, thermal imaging techniques, which enable non-contact and real-time monitoring of

temperatures during machining, have begun to be integrated into machinability analyses [15-17]. These technologies enable more accurate assessment of the effects on surface integrity, dimensional stability and material properties by analyzing the temperature distribution in the process zone.

There are many recent studies in the literature on microstructural control, mechanical properties, and machinability improvements in Al-Si-Mg alloys. Zheng et al. developed a new inoculant (Al-5Ce-1B) containing Ce and B elements, simultaneously improving the α -Al grain size and eutectic Si phase morphology in Al-7Si alloys, thereby increasing the tensile strength to 175 MPa and the elongation to 14.5% [18]. Dong et al. optimized variants of Al-(7–10)Si-(0.3–0.6)Mg alloys obtained by high-pressure casting using machine learning, demonstrating that the natural aging time (14–30 days) has a decisive effect on yield and tensile strength [19]. Peng et al. reported that after short-term solution treatment and artificial aging of an Al-Si-Mg alloy containing La and Ce, the eutectic Si phase became spherical, and the ultimate tensile strength reached 346.5 MPa with Mg-containing precipitates [20]. Ma et al. reported that they achieved a balanced combination of strength and ductility in the Al-10Si-1Cu-0.6Mg alloy, where they optimized the Cu/Mg ratio to 1.7, thanks to the fine precipitates [21]. Cao et al. emphasized that micropores and Fe-based intermetallic phases were influential in crack propagation in the Al-8.5Si-0.6Mn-0.25Mg alloy, and that mixed-mode fracture behavior was observed in these regions [22]. Shimizu and Nomura demonstrated that the ADC12 alloy maintains its morphological stability throughout 100 phase change cycles, providing a latent heat storage capacity of 411.1 J/g, and its high thermal conductivity makes it suitable for energy applications [23]. Finally, Jang et al. reported that the hardness values of the A356 alloy increase with the increase in Mg₂Si precipitates during the heat treatment process; however, these precipitates also reduce corrosion resistance [24]. These studies demonstrate that microstructural engineering, heat treatment regime, and alloying element selection in Al-Si-Mg and derivative alloys directly affect not only mechanical performance but also multidimensional engineering parameters such as machinability, thermal behavior, and surface integrity.

In this study, the effects of different cutting speeds (88, 123, and 158 m/min) and feed rates (0.04; 0.12 and 0.20 mm/rev) on the thermal behavior and surface roughness of Al-7Si-Mg alloy produced by gravity casting during a drilling operation on a CNC vertical machining center were experimentally investigated. Temperature data were obtained using a real-time thermal imager and correlated with the cutting parameters. Microscopic structural analyses and surface roughness measurements were performed on the post-treatment samples. The findings contribute to a more in-depth understanding of the thermomechanical responses of Al-7Si-Mg alloys during drilling and provide an important basis for determining optimal cutting conditions.

II. MATERIALS AND METHOD

The Al-7Si-Mg alloy was melted in a medium-frequency induction furnace by heating to approximately 770±10°C and solidified by pouring it into a metal mold at room temperature. The resulting plates, measuring approximately 140×100×18mm (Fig. 1a), were machined to make them suitable for various types of testing. Accordingly, 70×50×17mm (Fig. 1b) were prepared for machinability tests, tensile specimens (Fig. 1c) conforming to standards for mechanical testing, and cross-sectional specimens (Fig. 1d) were prepared for microstructural examination.

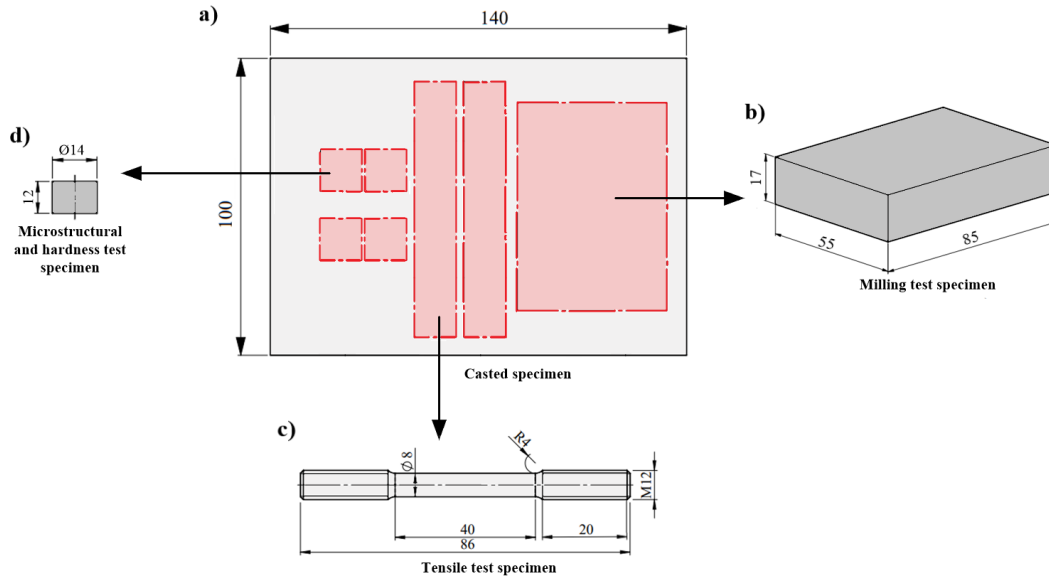


Figure 1. Technical drawings of samples, a) Casted specimen, b) Machinability test sample, c) Mechanical test sample and d) Microstructural test samples (Dimensions in mm)

The prepared samples were first mounted in Bakelite for metallographic examination, and then their surfaces were subjected to grinding and polishing processes. Following these processes, the microstructure of the samples was examined in detail using an optical microscope (Carl Zeiss Axiolab 5). To evaluate the mechanical properties, tensile specimens were prepared in accordance with the dimensions specified in the ASTM E8 standard. During the tensile tests, yield and tensile strength, elongation to fracture were obtained using a constant jaw speed of 0.25 mm/s and a deformation rate of approximately $5.9 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$. Hardness measurements were performed using the Brinell method; a 2.5 mm diameter steel ball was used in each test under a load of 62.5 kgf. Three independent samples were tested for each alloy group, and the arithmetic average of the results was used to determine the results.

Machinability tests were conducted on a CNC vertical machining center under dry cutting conditions, using different cutting speeds (88, 123, and 158 m/min), feed rates (0.04; 0.12 and 0.20 mm/rev), and constant depth of cut (17 mm) [9, 25, 26]. Drilling tests were performed using an uncoated Ø5 mm HSS uncoated drill bit, and a new cutting tool was selected for each test. The tests were conducted on a 22.4 kW HAAS VF-2SS model vertical machining center and applied to a total of nine different processes, depending on the selected cutting parameters and Al-7Si-Mg alloy combinations. Thrust forces were measured in Z axis with a Kistler 5070A dynamometer system; the obtained data were analyzed using an amplifier and Dynaware software (Fig. 2). A thermal camera was positioned opposite the machine-tool area to monitor temperatures generated during machining in real time. The thermal data was processed using FLIR ResearchIR software, and key metrics such as maximum temperature ($T_{\max}$), and temperature distribution profiles were calculated. To evaluate the surface quality after drilling, surface roughness measurements were performed on each sample. For this purpose, a Mahr Perthometer surface roughness measuring device with a tracking tip was used, and measurements were conducted in accordance with ISO 4287. The obtained roughness values were expressed as the arithmetic mean surface roughness (R_a). These values are calculated according to the equation $R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |y(x)| dx$ where L represents the measuring length and y represents the measured value [9, 11].

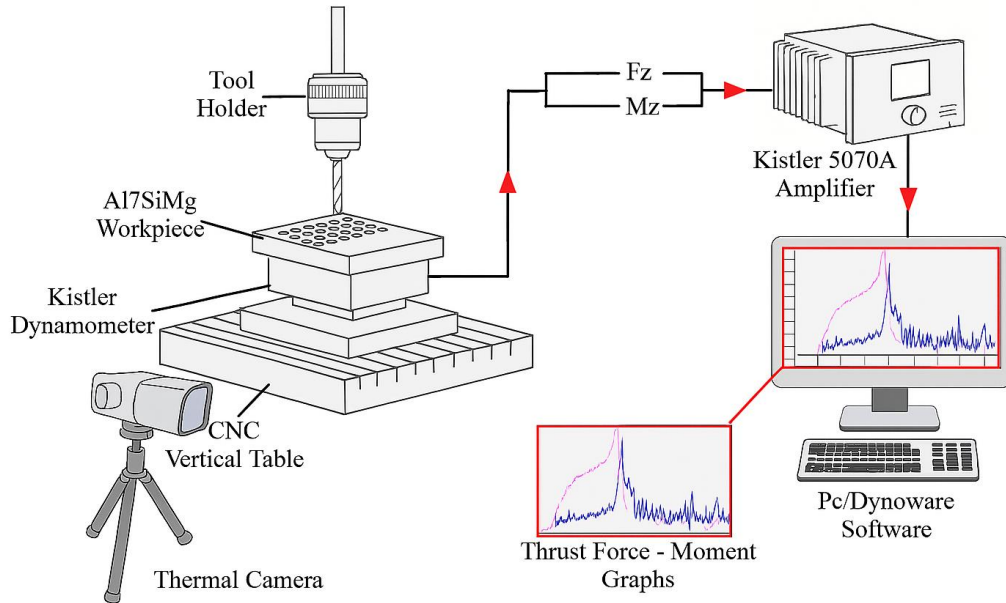


Figure 2. The schematic representation of the drilling testing apparatus

III. RESULTS

A. Microstructural and Mechanical Observations

In the post-cast microstructure of the alloy, in addition to the aluminium-rich α -Al matrix phase, a eutectic Al-Si phase with a coral-like morphology, primary Si crystals, and high-iron intermetallic compounds located along dendritic boundaries were observed. These intermetallic phases consist of β -Al₅FeSi with a layered and needle-like structure, and π -AlSiMgFe phases with a script-like appearance. The presence of these phases was confirmed by both optical microscopy images (Fig. 3a) and detailed structural analyses obtained by scanning electron microscopy (SEM) (Fig. 3b).

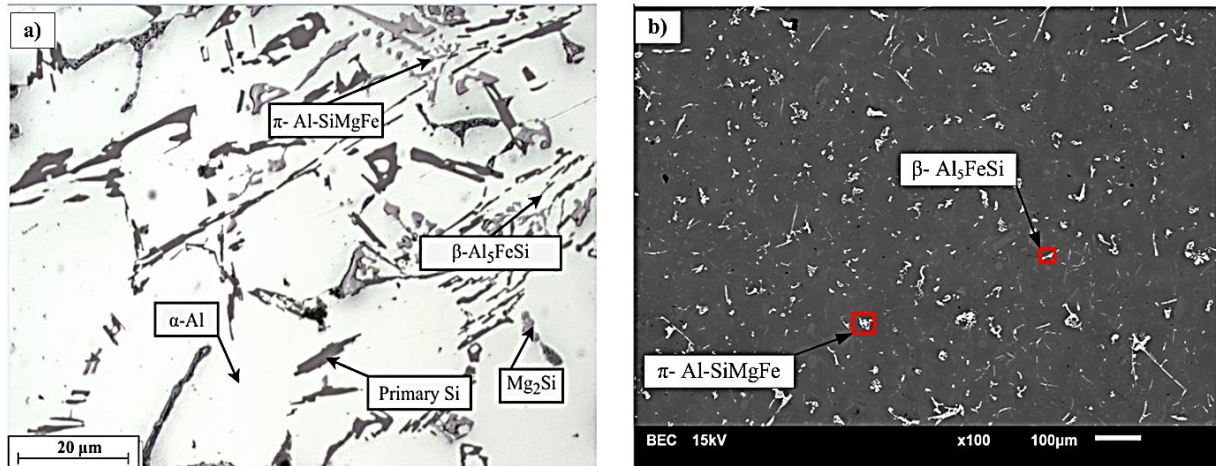


Figure 3. Microstructure images of Al-7Si-Mg alloy in the as-cast state, a) Optic microscope, and b) SEM images

Data obtained from the mechanical characterization of the Al-7Si-0.6Mg alloy, based on tensile tests, revealed an average tensile strength of 110 MPa, a yield strength of 65 MPa, and elongation to fracture of 2.2%. These values indicate that the material offers limited strength in direct use after casting but is capable of deformation. Furthermore, microhardness tests revealed an average Brinell hardness of 55 HB.

B. Machinability Properties

When machining alloys under constant feed rate conditions, it was observed that R_a decreased with increasing cutting speed, while T_{max} increased (Fig. 4). With an increase in cutting speed from 88 m/min to 158 m/min at feed of 0.04 mm/rev, R_a decreased by 6.9%, while T_{max} increased by 43.65% (Fig. 4a). With an increase in cutting speed from 88 m/min to 158 m/min at feed of 0.12 mm/rev, R_a decreased by 7.76%, while T_{max} increased by 40.23% (Fig. 4b). With an increase in cutting speed from 88 m/min to 158 m/min at feed of 0.20 mm/rev, R_a decreased by 6.81%, and T_{max} increased by 45.01% (Fig. 4c).

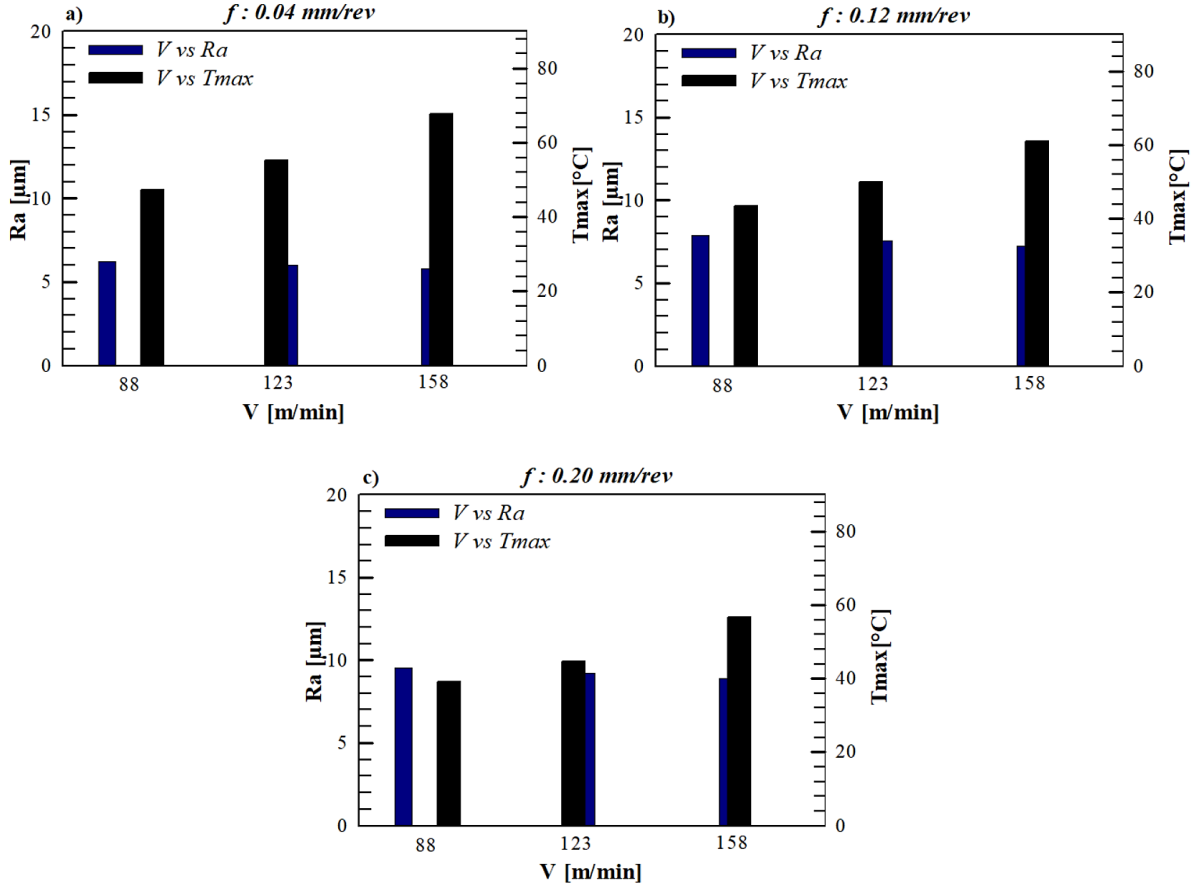


Figure 4. R_a and T_{max} relationship at constant feed rate, a) 0.04 mm/rev, b) 0.12 mm/rev, and c) 0.20 mm/rev.

When machining alloys under constant cutting speed conditions, it was observed that R_a increased with increasing feed rate, while T_{max} decreased (Fig. 5). Under a cutting speed of 88 m/min, as feed increased from 0.04 mm/rev to 0.20 mm/rev, R_a increased by 53.62%, while T_{max} decreased by 17.16% (Fig. 5a). At a cutting speed of 123 m/min, R_a increased by 54%, while T_{max} decreased by 19.06% (Fig. 5b). At a cutting speed of 158 m/min, R_a increased by 53.81%, and T_{max} decreased by 16.37% (Fig. 5c).

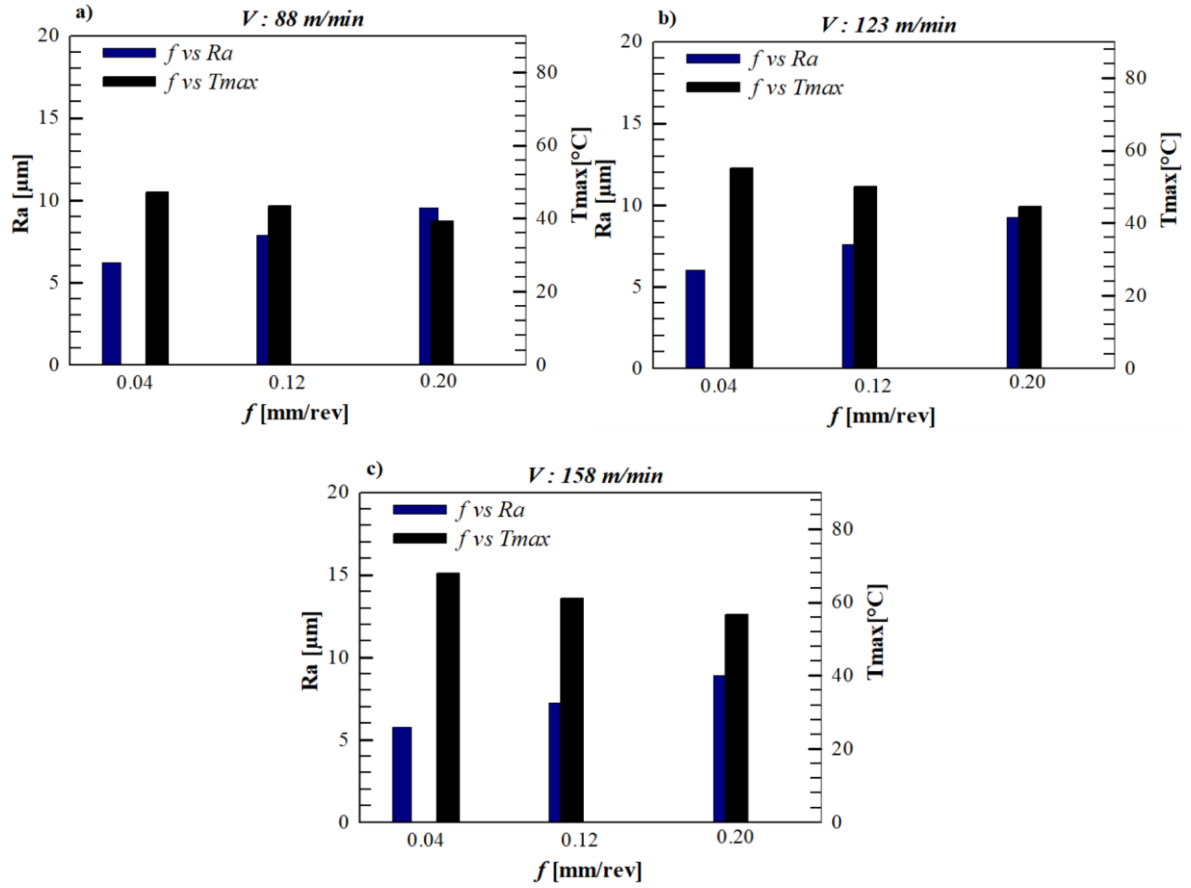


Figure 5. R_a and T_{max} relationship at constant cutting speed, a) 95 m/min, b) 125m/min, and c)155 m/min

IV. DISCUSSION

A. Microstructural Evaluations

Microstructural analyses revealed that the Al-7Si-Mg alloy obtained by casting exhibited an Al-Si eutectic structure surrounding the α -Al dendritic phase, as well as the formation of intermetallic compounds such as β -Al₅FeSi and π -AlSiMgFe due to the Fe. It is believed that the ternary eutectic reaction during cooling resulted in the separation of Al, Si, and Fe-rich phases, with the β phase partially transforming into the π phase through a semi-peritectic reaction during the subsequent cooling process. SEM analyses confirmed that the π -Fe phases, which have a needle-like morphology, evolved into rounded and script-like structures over time, depending on the cooling rate and Mg content. As noted by Wu et al. the morphology and distribution of the phases interacting with Fe change significantly as the Mg content increases [27, 28]. Furthermore, as the Mg content increases, the volumetric ratio and location of Fe-rich intermetallic phases change, and the more complex β -Al₃Fe₂Si₂ phases begin to dominate instead of the β phase [13, 29]. This is of critical importance in terms of the microstructure-mechanical property relationship.

B. Evaluation of Mechanical Properties

Mechanical tests on the Al-7Si-Mg alloy yielded an average tensile strength of 110 MPa, a yield strength of 65 MPa, and a hardness of 55 HB. These results indicate acceptable values for an alloy that has not been heat-treated after casting. Furthermore, the elongation to fracture of 2.2% indicates that the alloy possesses a certain degree of ductility. The finely dispersed Mg₂Si precipitates in the microstructure, as well as intermetallic phases, play a significant role in this level of mechanical behaviour. Wu et al. stated that increasing the Mg content positively affects strength, particularly by increasing the density of Mg₂Si precipitates. However, the literature also emphasizes that these same precipitates can slightly reduce ductility [30-32].

C. Evaluation of Machinability Properties

Data obtained from drilling tests revealed that cutting speed and feed parameters have significant effects on the machinability performance of the Al-7Si-Mg alloy. Increasing cutting speed under constant feed rate conditions resulted in a significant decrease in surface roughness (R_a) values and an increase in the $T_{\max}$ at the tool/material interface. This trend can be explained by the reduced contact time of the cutting tool with the material at high cutting speeds and the more continuous and smooth chip removal [33, 34]. In this context, it can be said that high cutting speeds increase machining stability by reducing mechanical friction on the tool, thereby improving surface quality [35]. However, due to the acceleration of plastic deformation in the deformation zone and the increase in the friction coefficient, heat accumulation occurs, resulting in increased thermal loads during drilling [36, 37]. As a matter of fact, as a result of the experiments, the lowest surface roughness ($R_a = 5.80 \mu\text{m}$) and the highest temperature value ($T_{\max} = 67^\circ\text{C}$) were measured at cutting speed of 158 m/min and feed of 0.04 mm/rev parameters.

On the other hand, increasing the feed rate under constant cutting speed conditions resulted in deeper and more irregular sections on the surface of the workpiece, leading to increased surface roughness values. This result is related to increased microdeformations and surface distortions on the material surface due to the increased material removal rate by the cutting insert [38, 39]. A decrease in the $T_{\max}$ value was observed under the same parameters. This can be explained by the fact that increasing the feed rate reduces the contact time of the cutting tool with the material, limiting heat accumulation in the machining zone. Furthermore, the faster chip separation from the cutting insert at higher feed rates, and the heat dissipation by the chip, may also have contributed to this temperature decrease [13, 40, 41].

V. CONCLUSION

In this study, a comprehensive analysis of the microstructure, mechanical properties, machinability, surface roughness and drilling temperature of an Al-7Si-Mg alloy was performed on a CNC vertical machining center under various cutting speed and feed parameters. Microstructural analyses revealed the dispersion of eutectic Si phases within the dendritic α -Al matrix, along with iron-rich intermetallic components such as β -Al₃FeSi and π -AlSiMgFe. These phases have a decisive influence on both the mechanical and machining behaviour of the alloy. Mechanical tests revealed a yield strength of 65 MPa, a tensile strength of 110 MPa, Brinell hardness of 55 HB, and elongation to fracture of 2.2%. In drilling experiments, it was determined that increasing cutting speed under constant feed rate reduces surface roughness but increases maximum temperature values in the cutting zone. The lowest surface roughness ($R_a = 5.80 \mu\text{m}$) and highest temperature ($T_{\max} = 67^\circ\text{C}$) were achieved at a cutting speed of 158 m/min and a feed rate of 0.04 mm/rev. On the other hand, increasing the feed rate under constant cutting speed deteriorated surface quality and reduced temperature values in the cutting zone.

REFERENCES

- [1] Yuan, X., Zhou, J., Li, X., Li, G., Wang, Q., Deng, Y., ... & Wang, H. (2025). Microstructures and mechanical properties of cast Al–Mg–Si alloy with combined addition of Sc and Zr. *Journal of Materials Research and Technology*, 35, 5097-5106.
- [2] Amer, S. M., Glavatskikh, M. V., Barkov, R. Y., Loginova, I. S., & Pozdniakov, A. V. (2024). Effect of Mn substitution on Cr in the Al-Cu-Er-Mg-Zr-Fe-Si-Ti cast alloy. *Journal of Alloys and Compounds*, 983, 173958.
- [3] Zhang, M., Wang, D., Nagaumi, H., Wang, R., Zhang, X., Zhou, P., ... & Zhang, B. (2024). Achieving excellent strength-ductility in Al–Si–Cu–Mg cast alloy via effective work hardening. *Materials Science and Engineering: A*, 889, 145840.
- [4] Lee, S. H., Seo, N., Kang, M., Son, S. B., Lee, S. J., & Jung, J. G. (2024). Natural aging-induced nanoprecipitation and its impact on tensile properties of Al–Si–Cu–Mg cast alloy. *Materials Characterization*, 215, 114204.
- [5] Xu, Y., Zhang, Y., Li, J., Wang, P., Wang, J., Chen, H., ... & Zhan, H. (2024). Effects of Cr-addition on ageing response of an Al–Si–Mg die cast alloy. *Materials Science and Engineering: A*, 892, 146058.
- [6] Ou, L., Xing, S., Sun, H., & Yan, G. (2025). Effect of Simultaneous Mg and Zn Addition on the Solidification and Microstructure of Multi-Element Hypoeutectic Al-Si Alloys. *Metals and Materials International*, 31(3), 752-769.
- [7] Zhu, Z., Wang, Y., Shi, D., Wang, J., Liu, Y., Wu, C., & Su, X. (2024). Optimizing the microstructure and enhancing the mechanical prsoperties of hypereutectic Al–Si alloys by Mg addition. *Journal of Materials Research and Technology*, 32, 457-469.

- [8] Bayraktar, Ş., & Demir, O. (2020). Processing of T6 heat-treated Al-12Si-0.6 Mg alloy. *Materials and Manufacturing Processes*, 35(3), 354-362.
- [9] Alparslan, C., & Bayraktar, Ş. (2024). Experimental research and optimization based on response surface methodology on machining characteristics of cast Al-7Si-0.6 Mg alloy: Effects of cutting parameters and heat treatment. *Measurement*, 236, 115111.
- [10] König, W., & Erinski, D. (1983). Machining and machinability of aluminium cast alloys. *CIRP Annals*, 32(2), 535-540.
- [11] Bayraktar, Ş., Alparslan, C., Salihoğlu, N., & Sarıkaya, M. (2024). The impact of heat treatment process on the drilling characteristics of Al-5Si-1Cu-Mg alloy produced by sand casting. *Journal of Materials Research and Technology*, 33, 2764-2772.
- [12] Hamed, M., Zedan, Y., Samuel, A. M., Doty, H. W., & Samuel, F. H. (2019). Milling parameters of Al-Cu and Al-Si cast alloys. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 104(9), 3731-3743
- [13] Alparslan, C., & Bayraktar, Ş. (2024). An experimental study on microstructural, mechanical and machinability properties of as-cast and heat-treated Al-7Si-Mg alloy. *Silicon*, 16(9), 3971-3985.
- [14] Kamiya, M., Yakou, T., Sasaki, T., & Nagatsuma, Y. (2008). Effect of Si content on turning machinability of Al-Si binary alloy castings. *Materials transactions*, 49(3), 587-592.
- [15] Lauro, C. H., Brandão, L. C., & Ribeiro Filho, S. L. (2013). Monitoring the temperature of the milling process using infrared camera. *Scientific research and essays*, 8(23), 1112-1120.
- [16] Zhu, Z., Sun, X., Guo, K., Sun, J., & Li, J. (2022). Recent advances in drilling tool temperature: a state-of-the-art review. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 35(1), 148.
- [17] Kolesnyk, V., Peterka, J., Kuruc, M., Šimna, V., Moravčíková, J., Vopát, T., & Lisovenko, D. (2020). Experimental study of drilling temperature, geometrical errors and thermal expansion of drill on hole accuracy when drilling CFRP/Ti alloy stacks. *Materials*, 13(14), 3232.
- [18] Zheng, Q., Chen, T., Li, D., & Wu, J. (2025). Synergistic optimization of α -Al grain and eutectic Si structures for Al-Si alloys via a newly designed Al-Ce-B alloy. *Materials Science and Engineering: A*, 925, 147867.
- [19] Dong, X., Liu, Q., Han, W., Yang, H., Shan, Z., & Ji, S. (2025). Intelligent development of high strength and ductile heat treatment-free Al-Si-Mg alloys for integrated die casting through the machine learning of experimental big data. *Journal of Alloys and Compounds*, 1021, 179769.
- [20] Peng, J., Yuan, S., Wang, W., Gan, P., Ji, J., & Zeng, J. (2025). Effect of short solution and artificial ageing on microstructure and mechanical properties of Al-Si-Mg-La-Ce alloy formed by high pressure die casting. *Journal of Alloys and Compounds*, 1020, 179436.
- [21] Ma, X., Pan, Y., Chen, L., Hou, H., Hou, J., and Zhao, Y., 2025. Effects of Cu and Mg alloying and low-temperature aging on microstructure characteristics and mechanical properties of heat treatment-free cast Al-Si-Cu-Mg alloys. *Journal of Materials Research and Technology*, **36**, 7081–7093.
- [22] Cao, H., Zhang, Q., Gao, Y., Ju, Z., Zhu, W., Yang, Q., and Xiang, D., 2025. Microstructure and fracture behavior of a heat-treatment-free die-cast alloy: Al-8.5Si-0.6Mn-0.25 Mg. *Journal of Materials Research and Technology*, **36**, 7705–7716.
- [23] Shimizu, Y., & Nomura, T. (2025). Die-cast Al-Si-Cu alloy (ADC12) as a phase change material for medium-high-temperature heat storage. *Journal of Alloys and Compounds*, 1017, 179006.
- [24] Jang, K. S., Jang, T., Jo, H., Shin, D., Lee, S., Kim, S. D., ... & Lee, J. (2025). Effect of heat treatment on corrosion resistance of A356 casting alloy. *Materials*, 18(5), 1056.
- [25] Sadiq, T O, Hameed, B A, Idris, J, Olaoye, O, Nursyaza, S, Samsudin, Z H, and Hasnan, M I 2019. Effect of different machining parameters on surface roughness of aluminium alloys based on Si and Mg content. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 41(10), 1-11.
- [26] Uddin, G M, Joyia, F M, Ghufraan, M, Khan, S A, Raza, M A, Faisal, M, ... and Zeid, I, 2021. Comparative performance analysis of cemented carbide, TiN, TiAlN, and PCD coated inserts in dry machining of Al 2024 alloy. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 112, 1461-1481.
- [27] Wu, X, Zhang, H, Ma, Z, Tao, T, Gui, J, Song, W, and Zhang, H, 2019. Interactions between Fe-rich intermetallics and Mg-Si phase in Al-7Si-xMg alloys. *Journal of Alloys and Compounds*, 786, 205-214.
- [28] Hao, J., Yu, B., Bian, J., Chen, B., Wu, H., Li, W., ... & Li, R. (2021). Calculation based on the formation of Mg₂Si and its effect on the microstructure and properties of Al-Si alloys. *Materials*, 14(21), 6537.
- [29] Dahle, A. K., Nogita, K., McDonald, S. D., Dinnis, C., & Lu, L. (2005). Eutectic modification and microstructure development in Al-Si Alloys. *Materials Science and Engineering: A*, 413, 243-248.
- [30] Wu, M. Z., Zhang, J. W., Zhang, Y. B., & Wang, H. Q. (2018). Effects of Mg content on the fatigue strength and fracture behavior of Al-Si-Mg casting alloys. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 27, 5992-6003.
- [31] Zhu, L., Qiu, F., Zou, Q., Han, X., Shu, S. L., Yang, H. Y., & Jiang, Q. C. (2021). Multiscale design of α -Al, eutectic silicon and Mg₂Si phases in Al-Si-Mg alloy manipulated by in situ nanosized crystals. *Materials Science and Engineering: A*, 802, 140627.
- [32] Bayraktar, Ş., Demir, O. (2020). Processing of T6 heat-treated Al-12Si-0.6 Mg alloy. *Materials and Manufacturing Processes*, 35, 354-362.

- [33] Bassoli, E., Iuliano, L., & Salmi, A. (2010). Deep drilling of aluminium die-cast Parts: surface roughness, dimensional tolerance, and tool–chip interaction. *Materials and Manufacturing Processes*, 25(6), 442-449.
- [34] Meng, X., Lin, Y., Mi, S., & Zhang, P. (2023). The Study of Tool Wear Mechanism Considering the Tool–Chip Interface Temperature during Milling of Aluminum Alloy. *Lubricants*, 11(11), 471.
- [35] Akhavan Farid, A., Sharif, S., & Idris, M. H. (2021). Performance and wear mechanisms of uncoated, TiAlN, and AlTiN-coated carbide tools in high-speed drilling of Al-Si alloy. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 113(9), 2671-2684.
- [36] Albarbary, Y. E., Afify, R., Mansour, E. H., Mahmoud, T. S., & Khedr, M. (2022). The effect of pre-drilling on the characteristics of friction drilled A356 cast aluminum alloy. *Journal of manufacturing processes*, 82, 646-656.
- [37] Bayraktar, Ş., Alparslan, C., Salihoğlu, N., & Sarıkaya, M. (2025). A holistic research based on RSM and ANN for improving drilling outcomes in Al–Si–Cu–Mg (C355) alloy. *Journal of Materials Research and Technology*, 35, 1596-1607.
- [38] Kishore, G., Parthiban, A., Krishnan, A. M., & Krishnan, B. R. (2021). Investigation of the surface roughness of aluminium composite in the drilling process. *Mater. Phys. Mech.*, 47(5), 739-746.
- [39] Al-Tameemi, H. A., Al-Dulaimi, T., Awe, M. O., Sharma, S., Pimenov, D. Y., Koklu, U., & Giasin, K. (2021). Evaluation of cutting-tool coating on the surface roughness and hole dimensional tolerances during drilling of Al6061-T651 alloy. *Materials*, 14(7), 1783.
- [40] Kumar, M. S., & Deivanathan, R. (2021). Effect of process parameters on drilling—An overview. *Materials Today: Proceedings*, 46, 1401-1406.
- [41] Alparslan, C., & Bayraktar, Ş. (2021). Tool wear in machining of wrought and cast aluminium alloys: literature review. *Manufacturing Technologies and Applications*, 2(3), 34-46.

Manyetik Alanların İnsan Beyin Fonksiyonları Üzerindeki Etkileri: Biyofiziksel Mekanizmalar, Nörofizyolojik Bulgular, Klinik Uygulamalar ve Gelecek Perspektifler

Fatih Yaşar^{1*}, Yakup Budak²

¹Fizik / Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Türkiye

²Kimya / Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Türkiye

*(fatih.yasar@gop.edu.tr) Başlıca yazarın mail adresi

Özet – Manyetik alanlar, doğal jeomanyetik alanlardan (25–65 μ T) yapay kaynaklara (MRI: 1.5–7 T, TMS: 1–3 T, cep telefonları: 0.1–10 μ T) kadar geniş bir yelpazede insan beyniyle etkileşime girer [1]. Transkraniyal manyetik stimülasyon (TMS), majör depresif bozukluk (etki büyüklüğü: 0.55–0.89), anksiyete, obsesif-kompulsif bozukluk (OKB) ve nöropatik ağrı tedavisinde güçlü terapötik etkinlik gösterirken [2], çevresel elektromanyetik alanların (EMA) etkileri daha zayıf (etki büyüklüğü: 0.1–0.3) ve uzun vadeli sonuçları belirsizdir [3]. Biyofiziksel modeller, elektromanyetik indüksiyon ve iyon siklotron rezonansı gibi mekanizmaların nöronal membran potansiyellerini ve sinaptik plastisiteyi nasıl etkilediğini açıklamaktadır [4]. Bu çalışmada, 2000-2024 yılları arasında yayımlanan 192 hakemli çalışma incelenerek manyetik alanların biyofiziksel, nörofizyolojik, bilişsel, klinik ve toplumsal etkilerini değerlendirilmiştir. Ayrıca, TMS ve EMA'nın nörobiyolojik etkilerini biyofiziksel bir perspektiften ele alarak literatürdeki boşluklar analiz edilmiş, yenilikçi araştırma önerileri sunulmuş olup, 5G ve yapay zeka destekli nöromodülasyon gibi güncel teknolojilerle bağlantı kurarak etik boyutları ortaya konulmaktadır. Çalışma sonucunda TMS'nin depresyondan anksiyeteye, OKB'dan nöropatik ağrı tedavisine kadar güçlü etkileri olmasına karşın EMA'nın nörobiyolojik etkileri zayıf ve geçici olduğu mekanizmalar mevcut olup EMA'nın hücrel etkileri, TMS ve EMA'nın kronik etkileri üzerine çalışmaların eksik olduğu belirlenmiştir. Taşınabilir tSMS cihazlarının geliştirilip makine öğrenmesi modellerinin entegre edilmesi ve genetik etkiler için biyosensörler geliştirilmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler – Manyetik Alanlar, Nöromodülasyon, Transkraniyal Manyetik Stimülasyon, Elektromanyetik Alanlar, Nöroplastisite, Klinik Nörobilim.

I. GİRİŞ

Manyetik alanlar, doğal jeomanyetik alanlar (25–65 μ T) ile MRI (1.5–7 T), transkraniyal manyetik stimülasyon (TMS; 1–3 T) ve cep telefonları (0.1–10 μ T) gibi yapay kaynaklardan yayılarak insan beyninin elektriksel ve kimyasal sinyalleşme mekanizmalarını etkiler [1]. İnsan beyni, yaklaşık 86 milyar nöron ve glial hücrelerden oluşan karmaşık bir sistem olup, iyon kanalları ve membran potansiyelleri üzerinden işlev görür [5], [6]. Teknolojik ilerlemeler, özellikle kablosuz iletişim cihazları (ör. 5G ağları) ve tıbbi nöromodülasyon araçları, manyetik alanlara maruziyeti artırmış; bu da biyofiziksel, nörofizyolojik ve klinik etkilerin anlaşılmasını acil bir ihtiyaç haline getirmiştir [7]. TMS, depresyon, anksiyete, obsesif-kompulsif bozukluk (OKB) ve nöropatik ağrı gibi durumların tedavisinde çığır açarken [2], [8], [9], çevresel elektromanyetik alanların (EMA) uzun vadeli etkileri tartışmalı olup halk sağlığı açısından önem taşımaktadır [10], [11].

Bu çalışmanın amacı, manyetik alanların insan beyin fonksiyonları üzerindeki etkilerini biyofiziksel bir perspektiften ele alarak, (1) elektromanyetik indüksiyon ve iyon siklotron rezonansı gibi etkileşim

mekanizmaları [12], [13], (2) nörofizyolojik ve elektrofizyolojik değişiklikleri [14], (3) bilişsel ve nöroplastik etkileri [15], (4) klinik terapötik uygulamaları [9], [16], ve (5) toplumsal ve etik sonuçları [17] bütüncül bir şekilde incelemektir. Çalışmadaki ana hedefimiz, TMS ve EMA'nın nörobiyolojik etkilerini biyofiziksel modeller, nörogörüntüleme ve klinik verilerle sentezleyerek literatürdeki bilgi boşluklarını tanımlamak ve yenilikçi araştırma yönelimleri önermektir.

Yapılan bu çalışmanın özgünlüğü, önceki çalışmaların genellikle yalnızca TMS veya EMA üzerine odaklanmasına karşın [18], [19], bu çalışmanın disiplinler arası bir yaklaşımla biyofizik, nöro bilim, klinik uygulamalar ve etik boyutlarını birleştirmesindedir. Ayrıca, 5G ağlarının yaygınlaşması, yapay zeka destekli nöromodülasyon ve pandemi sonrası artan ruh sağlığı sorunları gibi güncel bağlamlarla bağlantı kurarak, manyetik alan araştırmalarının nöro bilim ve halk sağlığı politikalarına katkısı değerlendirilir. Teknolojik gelişmelerin ve çevresel maruziyetlerin insan beyni üzerindeki etkilerine dair artan kamuoyu ve bilimsel ilgiye yanıt vermek, bu etkilerin biyofiziksel temellerini aydınlatarak daha güvenli ve etkili nöromodülasyon uygulamaları için bir yol haritası sunma hedeflenmektedir.

Bu çalışma yapılırken, 2000-2024 yılları arasında yayımlanan 192 hakemli çalışmayı (148 orijinal araştırma, 30 meta-analiz/sistemik derleme, 14 teorik çalışma) analiz ederek, seçim kriterlerine uygun bulunan çalışmaların Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) ve A Measurement Tool to Assess Systematic Reviews (AMSTAR-2) yönergelerine uygun olarak Değerlendirilmesi yapılmıştır. Metodolojik detaylar Yöntem bölümünde sunulmaktadır.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

PRISMA ve AMSTAR-2 yönergelerine uygun olarak yürütülen çalışmamızda, PubMed, Web of Science, Scopus, PsycINFO ve IEEE Xplore gibi veri tabanlarında, Ocak 2000-Nisan 2024 dönemini kapsayan sadece İngilizce ve Türkçe hakemli yayınlar taranmıştır. Anahtar kelimeler ("manyetik alan", "beyin fonksiyonu", "nöromodülasyon", "transkraniyal manyetik stimülasyon", "elektromanyetik alan maruziyeti") Boolean operatörlerle birleştirilerek kapsamlı bir tarama yapılmıştır.

Dahil Etme Kriterleri:

- İnsan beyni üzerindeki etkileri doğrudan veya dolaylı olarak inceleyen çalışmalar.
- Bilimsel verilere dayalı deneysel, gözlemsel veya teorik tasarımlar.
- Hakemli yayınlar.

Dışlama Kriterleri:

- Tam metne erişilemeyen çalışmalar.
- Vaka raporları veya görüş yazıları.
- Yetersiz kontrol grupları gibi metodolojik açıdan zayıf çalışmalar.

Biyofiziksel modeller, nörogörüntüleme verileri ve klinik sonuçlar açısından toplam 192 çalışma incelenerek bunlardan kriterlere uygun 33 tanesi çalışmaya dahil edilmiştir.

III. BULGULAR

Biyofiziksel Etkileşim Mekanizmaları

Manyetik alanlar, elektromanyetik indüksiyon, iyon siklotron rezonansı ve radikal çift mekanizmaları yoluyla nöronal membran potansiyellerini ve iyon kanalı dinamiklerini etkilemektedir [4], [13]. TMS, yüksek yoğunluklu (1–3 T) alanlarla kortikal nöronları doğrudan uyarırken [20], EMA, 0.1–10 μ T aralığında bağlama duyarlı ve düşük şiddette etkiler göstermektedir [21]. Biyofiziksel modeller (ör. sonlu elemanlar yöntemi, FEM), manyetik alanların doku üzerindeki elektrik akım yoğunluklarını ve nöroplastik etkilerini açıklamaktadır [22].

Nörofizyolojik ve Elektrofizyolojik Değişiklikler

TMS, kortikal uyarılabilirlik ve sinaptik plastisiteyi artırarak EEG’de alfa ve beta bantlarında değişiklikler oluşturduğu belirlenmiştir [14], [23]. EMA ise (cep telefonları: 900–2100 MHz, Wi-Fi: 2.4–5 GHz), EEG’de geçici değişiklikler üretmekle birlikte (etki büyüklüğü: 0.1–0.3) bu etkiler arasında bazı tutarsızlıklar gözlenmektedir [3], [24].

Bilişsel ve Nöroplastik Etkiler

TMS, çalışma belleği ve dikkat gibi bilişsel işlevleri iyileştirerek nöroplastisiteyi desteklemektedir [15], [25]. EMA’nın ise bilişsel etkileri (dikkat, hafıza) minimal ve geçici olup [24] uzun vadeli nöroplastik etkileri üzerine bir takım belirsizlikler bulunmaktadır.

Klinik Terapötik Uygulamalar

TMS, majör depresif bozukluk (etki büyüklüğü: 0.55–0.89), anksiyete, OKB ve nöropatik ağrı tedavisinde etkili olup %30–40 remisyon oranı sunmaktadır [2], [8], [9], [26]. Hızlandırılmış rTMS ve bağlantısal hedefleme gibi yenilikçi protokollerin etkinliği artırdığı belirlenmiştir [16], [27]. Taşınabilir tSMS cihazları için klinik erişim alanı genişletebilir [28].

Toplumsal ve Etik Sonuçlar

EMA maruziyetine ilişkin kamuoyu endişeleri, 5G’nin yaygınlaşmasıyla artmış, ancak termal olmayan etkiler için henüz yeterli düzeyde kanıtlar yoktur [19], [29]. TMS’nin maliyet ve erişim sorunları, etik ve düzenleyici tartışmaları beraberinde getirmektedir [17]. Çocuklar gibi hassas gruplar EMA’ya daha duyarlı olabilir, ancak bununla ilgili veriler de yetersizdir [11].

IV. TARTIŞMA

Literatürdeki Eğilimler

Manyetik alan araştırmaları, TMS’nin hedefe yönelik nöromodülasyonu ve EMA’nın yaygın etkileri olmak üzere iki eksende ilerler. TMS, kortikal uyarılabilirlik ve sinaptik plastisite yoluyla depresyon, anksiyete, OKB ve nöropatik ağrı tedavisinde güçlü etkiler sunmaktadır [2], [30]. EMA’nın etkileri ise düşük yoğunluklu ve bağlama bağımlıdır, EEG’de geçici değişikliklerle sınırlıdır [3], [24].

Tartışmalı Konular

TMS’de Yanıt Değişkenliği: Genetik ve nöroanatomik faktörler hasta yanıtlarını etkilediği bilinmekte, ancak öngörücü biyobelirteçler eksiktir [27].

EMA’nın Sağlık Riskleri: Beyin tümörleri veya nöropsikolojik bozukluklarla zayıf bağlantılar metodolojik sorunlar nedeniyle çelişkili bulgular elde edilmektedir [29], [31].

Mekanistik Belirsizlikler: TMS’nin mekanizmaları iyi anlaşılmışken, EMA’nın oksidatif stres gibi hücrel etkileri hala spekülatiftir [21].

Dozimetri Sorunları: Manyetik alan maruziyetinin doğru şekilde ölçümü zordur [4], [32].

Bilgi Boşlukları

Moleküler Mekanizmalar: EMA’nın nöroplastisite üzerindeki hücrel etkileri üzerindeki çalışmalar yetersizdir [21].

Uzun Vadeli Etkiler: TMS ve EMA’nın kronik etkileri, özellikle bebek ve çocuklar gibi hassas gruplarda, belirsizliğini korumaktadır [11].

Bireysel Değişkenlik: Genetik ve nöral farklılıkların yanıtları etkilemesi nedeniyle veriler arasında tutarsızlıklar oluşmaktadır [33].

Standartlaşma Eksikliği: TMS parametreleri ve EMA ölçüm yöntemleri yeterince standardize değildir [34].

Metodolojik Eleştiriler

TMS çalışmalarında sahte kontroller duyuşal ipuçları nedeniyle güvenilir değildir [34]. EMA araştırmalarında ise maruziyet sınıflandırma hataları ve küçük örneklem büyüklükleri ile sınırlıdır [29].

Disiplinler Arası Sentez

TMS, elektromanyetik indüksiyon yoluyla nöroplastisiteyi hedefe yönelik olarak modüle eder [18], [20]. EMA, radikal çift mekanizmaları gibi daha ince etkiler üretmektedir [13]. TMS ve EMA'nın bilişsel etkileri, nöroplastik yollar üzerinden farklı mekanizmalar yoluyla gerçekleşir [15], [35].

Güncel Bağlam

Pandemi sonrası ruh sağlığı sorunları TMS talebini artırmış, tele-tıp ve yapay zeka destekli TMS erişimi daha kolay hale getirilebilir [17]. 5G ve ELF maruziyeti kamuoyu endişelerini giderek artırmaktadır [19].

V. SONUÇ VE GELECEK PERSPEKTİFLERİ

Ana Bulguların Özeti

TMS, depresyon, anksiyete, OKB ve nöropatik ağrı tedavisinde güçlü etkiler sunarken [2], [9], EMA'nın nörobiyolojik etkileri zayıf ve geçicidir [3]. Biyofiziksel modeller ve nörogörüntüleme, bu etkilerin mekanizmalarını aydınlatmıştır [22], [36].

Gelecek Yönelimler

Moleküler Araştırmalar: EMA'nın hücreşel etkilerini anlamak için çoklu-omik yaklaşımlar gereklidir [21].

Uzun Vadeli Çalışmalar: TMS ve EMA'nın kronik etkileri için kohort çalışmaları yapılmalıdır [11].

Kişiselleştirilmiş Yaklaşımlar: Genetik ve bağlantısal biyobelirteçler geliştirilmelidir [27].

Teknolojik Yenilikler: Kapalı döngü TMS, taşınabilir tSMS cihazları ve makine öğrenimi entegre modeller geliştirilmelidir [22], [28], [37].

Etik ve Politika Önerileri: Bilgilendirilmiş onam, kamuoyu eğitimi ve düzenleyici çerçeveler güçlendirilmelidir [17].

KAYNAKLAR

- [1] Bandara, P., & Carpenter, D. O. (2018). Planetary electromagnetic pollution: It is time to assess its impact. *The Lancet Planetary Health*, 2(12), e512–e514. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(18\)30221-3](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(18)30221-3)
- [2] Lefaucheur, J. P., Aleman, A., Baeken, C., Benninger, D. H., Brunelin, J., Di Lazzaro, V., ... & Ziemann, U. (2020). Evidence-based guidelines on the therapeutic use of repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS): An update (2014–2018). *Clinical Neurophysiology*, 131(2), 474–528. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2019.11.002>
- [3] Croft, R. J., Hamblin, D. L., Spong, J., Wood, A. W., McKenzie, R. J., & Stough, C. (2010). Effects of mobile phone electromagnetic fields on the human EEG alpha rhythm. *Bioelectromagnetics*, 29(1), 1–10. <https://doi.org/10.1002/bem.20352>
- [4] Peterchev, A. V., Wagner, T. A., Miranda, P. C., Nitsche, M. A., Paulus, W., Lisanby, S. H., ... & Bikson, M. (2012). Fundamentals of transcranial electric and magnetic stimulation dose: Definition, selection, and reporting practices. *Brain Stimulation*, 5(4), 435–453. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2011.10.001>

- [5] Azevedo, F. A., Carvalho, L. R., Grinberg, L. T., Farfel, J. M., Ferretti, R. E., Leite, R. E., ... & Herculano-Houzel, S. (2009). Equal numbers of neuronal and nonneuronal cells make the human brain an isometrically scaled-up primate brain. *Journal of Comparative Neurology*, 513(5), 532–541. <https://doi.org/10.1002/cne.21974>
- [6] Hodgkin, A. L., & Huxley, A. F. (1952). A quantitative description of membrane current and its application to conduction and excitation in nerve. *The Journal of Physiology*, 117(4), 500–544. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1952.sp004764>
- [7] Barnes, F. S., & Greenebaum, B. (Eds.). (2018). *Handbook of biological effects of electromagnetic fields* (4th ed.). CRC Press.
- [8] O'Reardon, J. P., Solvason, H. B., Janicak, P. G., Sampson, S., Isenberg, K. E., Nahas, Z., ... & Sackeim, H. A. (2007). Efficacy and safety of transcranial magnetic stimulation in the acute treatment of major depression: A multisite randomized controlled trial. *Biological Psychiatry*, 62(11), 1208–1216. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2007.01.018>
- [9] Roth, Y., Barnea-Ygael, N., Carmi, L., Storch, E., Trendler, A. & Zangen, A. (2020). Deep transcranial magnetic stimulation for obsessive-compulsive disorder is efficacious even in patients who failed multiple medications and CBT. *Psychiatry Research*, 290, 113179. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2020.113179>
- [10] Belyaev, I., Dean, A., Eger, H., Hubmann, G., Jandrisovits, R., Kern, M., ... & Thill, R. (2016). EUROPAEM EMF Guideline 2016 for the prevention, diagnosis and treatment of EMF-related health problems and illnesses. *Reviews on Environmental Health*, 31(3), 363–397. <https://doi.org/10.1515/reveh-2016-0011>
- [11] Aydin, D., Feychting, M., Schüz, J., Tynes, T., Andersen, T. V., Schmidt, L. S., ... & Rösli, M. (2011). Mobile phone use and risk of brain tumors in children and adolescents: A multicenter case-control study. *Journal of the National Cancer Institute*, 103(16), 1264–1276. <https://doi.org/10.1093/jnci/djr244>
- [12] Jackson, J. D. (1999). *Classical electrodynamics* (3rd ed.). John Wiley & Sons.
- [13] Hore, P. J., & Mouritsen, H. (2016). The radical-pair mechanism of magnetoreception. *Annual Review of Biophysics*, 45, 299–344. <https://doi.org/10.1146/annurev-biophys-032116-094545>
- [14] Buzsáki, G., & Draguhn, A. (2004). Neuronal oscillations in cortical networks. *Science*, 304(5679), 1926–1929. <https://doi.org/10.1126/science.1099745>
- [15] Brunoni, A. R., & Vanderhasselt, M. A. (2014). Working memory improvement with non-invasive brain stimulation of the dorsolateral prefrontal cortex: A systematic review and meta-analysis. *Brain and Cognition*, 86, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2014.01.008>
- [16] Hsu, W. Y., Cheng, C. H., Liao, K. K., Lee, I. H., & Lin, Y. Y. (2012). Effects of repetitive transcranial magnetic stimulation on motor functions in patients with stroke: A meta-analysis. *Stroke*, 43(7), 1849–1857. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.111.649756>
- [17] Ienca, M., & Andorno, R. (2017). Towards new human rights in the age of neuroscience and neurotechnology. *Life Sciences, Society and Policy*, 13(1), 1–27. <https://doi.org/10.1186/s40504-017-0050-1>
- [18] Hallett, M. (2007). Transcranial magnetic stimulation: A primer. *Neuron*, 55(2), 187–199. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2007.06.026>
- [19] Simkó, M., & Mattsson, M. O. (2019). 5G wireless communication and health effects—A pragmatic review based on available studies regarding 6 to 100 GHz. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(18), 3406. <https://doi.org/10.3390/ijerph16183406>
- [20] Barker, A. T., Jalinous, R., & Freeston, I. L. (1985). Non-invasive magnetic stimulation of human motor cortex. *The Lancet*, 325(8437), 1106–1107. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(85\)92413-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(85)92413-4)
- [21] Pall, M. L. (2013). Electromagnetic fields act via activation of voltage-gated calcium channels to produce beneficial or adverse effects. *Journal of Cellular and Molecular Medicine*, 17(8), 958–965. <https://doi.org/10.1111/jcmm.12088>
- [22] Thielscher, A., Opatz, A., & Windhoff, M. (2015). Impact of the gyral geometry on the electric field induced by transcranial magnetic stimulation. *NeuroImage*, 54(1), 234–243. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.07.061>
- [23] Rogasch, N. C., Thomson, R. H., Farzan, F., Fitzgibbon, B. M., Bailey, N. W., Hernandez-Pavon, J. C., ... & Fitzgerald, P. B. (2014). Assessing cortical network properties using TMS-EEG. *The Journal of Physiology*, 592(16), 3727–3743. <https://doi.org/10.1002/hbm.22016>
- [24] Carrubba, S., Frilot, C., Chesson, A. L., & Marino, A. A. (2010). Mobile-phone pulse triggers evoked potentials. *Neuroscience Letters*, 469(1), 164–168. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2009.11.068>

- [25] Wang, J. X., Rogers, L. M., Gross, E. Z., Ryals, A. J., Dokucu, M. E., Brandstatt, K. L., ... & Voss, J. L. (2014). Targeted enhancement of cortical-hippocampal brain networks and associative memory. *Science*, 345(6200), 1054–1057. <https://doi.org/10.1126/science.1252900>
- [26] Diefenbach, G. J., Assaf, M., Goethe, J. W., Gueorguieva, R., & Tolin, D. F. (2016). Repetitive transcranial magnetic stimulation for generalized anxiety disorder: A pilot randomized, double-blind, sham-controlled trial. *The British Journal of Psychiatry*, 209(3), 222–228. <https://doi.org/10.1192/bjp.bp.115.168203>
- [27] Fox, M. D., Halko, M. A., Eldaief, M. C., & Pascual-Leone, A. (2013). Identification of reproducible individualized targets for treatment of depression with TMS based on intrinsic connectivity. *NeuroImage*, 66, 151–160. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.10.082>
- [28] Oliviero, A., Mordillo-Mateos, L., Arias, P., Panyavin, I., Foffani, G., & Aguilar, J. (2011). Transcranial static magnetic field stimulation of the human motor cortex. *The Journal of Physiology*, 589(20), 4949–4958. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2011.211953>
- [29] INTERPHONE Study Group. (2010). Brain tumour risk in relation to mobile telephone use: Results of the INTERPHONE international case-control study. *International Journal of Epidemiology*, 39(3), 675–694. <https://doi.org/10.1093/ije/dyq079>
- [30] Baeken, C., & De Raedt, R. (2011). Neurobiological mechanisms of repetitive transcranial magnetic stimulation on the underlying neurocircuitry in unipolar depression. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 35(3), 522–531. <https://doi.org/10.31887/dens.2011.13.1/cbaeken>
- [31] Hardell, L., Carlberg, M., & Hansson Mild, K. (2013). Case-control study of mobile phone use and the risk of glioma. *International Journal of Oncology*, 43(6), 1833–1845. <https://doi.org/10.3892/ijo.2013.2111>
- [32] Kirschvink, J. L., Kobayashi-Kirschvink, A., & Woodford, B. J. (1992). Magnetite biomineralization in the human brain. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 89(16), 7683–7687. <https://doi.org/10.1073/pnas.89.16.7683>
- [33] Kandel, E. R., Schwartz, J. H., Jessell, T. M., Siegelbaum, S. A., & Hudspeth, A. J. (2013). *Principles of neural science* (5th ed.). McGraw-Hill.
- [34] Duecker, F., & Sack, A. T. (2015). Rethinking the role of sham TMS. *Frontiers in Psychology*, 6, 210. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00210>
- [35] Raichle, M. E. (2015). The brain's default mode network. *Annual Review of Neuroscience*, 38, 433–447. <https://doi.org/10.1146/annurev-neuro-071013-014030>
- [36] Bergmann, T. O., Karabanov, A., Hartwigsen, G., Thielscher, A., & Siebner, H. R. (2021). Concurrent TMS-fMRI for causal network perturbation and evidence of targeted engagement. *NeuroImage*, 237, 118093. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2021.118093>
- [37] Zangen, A., Roth, Y., Voller, B., & Hallett, M. (2005). Transcranial magnetic stimulation of deep brain regions: Evidence for efficacy of the H-coil. *Clinical Neurophysiology*, 116(4), 775–779. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2004.11.008>

Chemical Structure of Apilarnil

Nesibe Özge Toy*, Nuray Şahinler²

¹ Usak University Graduate Education Institute/ Animal Science/Turkey

² Usak University Faculty of Agriculture/Animal Science Department/ Turkey

*(nesibe-ozaydin@hotmail.com) Email of the corresponding author

Abstract – Apilarnil, derived from male bee larvae (*Apis mellifera* L.), is a nutrient-rich bee product with a long history of use in traditional and modern medicine. Its chemical composition includes proteins (9–12%), carbohydrates (6–10%), lipids (5–8%), essential amino acids (e.g., lysine, glutamic acid), vitamins (A, B1, B6), minerals (calcium, zinc, iron), and bioactive compounds like flavonoids and hormones. Studies highlight its adaptogenic, antioxidant, anti-inflammatory, and immunomodulatory properties, with potential benefits for male reproductive health due to its androgenic effects.

The chemical profile of apilarnil varies based on geographical origin, extraction methods, and processing. For instance, fresh samples contain 69–76% water, while freeze-dried forms exhibit higher protein concentrations. HPLC and GC-MS analyses reveal diverse amino acids, fatty acids, and volatile compounds (e.g., esters, ketones). Despite its therapeutic potential, standardization challenges necessitate further research to validate its efficacy in complementary medicine.

Keywords- Apilarnil, Drone Larvae, Bioactive Compounds, Amino Acids, Apitherapy, Antioxidant.

I. INTRODUCTION

Bee products have been used in the field of medicine for centuries due to their rich biochemical content. Since the late 20th century, the beneficial properties of these products have been recognized in modern medicine and accepted by many civilizations. Apilarnil, a natural product, is one of the bee products and refers to the male bee larvae [1]. Although considered a waste product in beekeeping, its high protein content makes it a recommended dietary supplement in traditional and complementary medicine practices [2-3]. This product, which is essentially male bee larvae, is collected from hives during the spring season and undergoes certain processes to become ready for consumption. With a color ranging from white to yellow, it is consumed as a popular natural remedy in many parts of the world [4-5].

When examining the chemical content of apilarnil, which is used as a natural chemical remedy in many regions, it contains numerous bioactive components such as proteins, enzymes, carbohydrates, hormones, flavonoids, vitamins, minerals, and essential amino acids [6-7].

This substance, derived from male bee larvae (drone larvae) of the *Apis mellifera* L. species, has long been used in traditional medicine. It is particularly valued as an adaptogen and energy-boosting tonic in countries like China, Romania, and Russia [8-9].

Modern pharmacology is investigating the potential effects of bioactive molecules in apilarnil on human health. Like other bee-derived products (honey, propolis, royal jelly), apilarnil has a complex chemical structure. However, its unique components distinguish it from other bee products [10-11].

The biological activity of apilarnil stems from its proteins, peptides, lipids, vitamins, and minerals. Its high content of essential amino acids makes it stand out as a dietary supplement [12]. Additionally, the presence of steroid-like compounds suggests it may influence hormonal balance [13].

Studies on the pharmacological effects of apilarnil have revealed its antioxidant, anti-inflammatory, immunomodulatory, and androgenic properties [14]. Its testosterone-boosting effect, in particular, is an important area of research for male reproductive health [15].

The chemical composition of apilarnil can vary depending on extraction methods and the geographical region of the bee colony [16]. Therefore, developing standardized production methods is crucial for clinical studies.

A. Chemical Structure Of Apilarnil

The chemical profile of apilarnil focuses on four main macronutrient groups: proteins, carbohydrates, lipids, and mineral-vitamin complexes. Its protein content ranges between 9–12%, with a comprehensive amino acid distribution that includes all essential amino acids [17]. HPLC-UV analyses have identified 16–31 different amino acids, nine of which are essential for the human body. Lysine is the most abundant (7,198 mg/100 g), while methionine is the least abundant essential amino acid. Significant levels of glutamic acid, leucine, valine, serine, proline, and tyrosine have also been detected [18]. This profile classifies apilarnil as a "complete food," as it contains both structural and functional protein sources. Non-essential amino acids further enhance metabolic functions, supporting cell renewal, immune response, neurotransmitter synthesis, and body repair mechanisms. Proline and glutamic acid, for example, are reported to have positive effects on the immune and nervous systems [19].

Studies on the chemical content of apilarnil indicate that it contains 25–35% dry matter, 9–12% protein, 6–10% carbohydrates, 5–8% lipids, 2% ash, and 3% unidentified substances. Additionally, apilarnil is rich in male hormones, suggesting it acts as a natural anabolic stimulant and increases muscle mass in men [20–21]. It also contains vitamins (A, beta-carotene, B1, B6, PP, and choline) and minerals (calcium, phosphorus, sodium, zinc, manganese, iron, copper, and potassium) [22].

Research on fresh apilarnil samples highlights that water constitutes the majority of its content (69.70–76.44%). Lipid content varies between 1.29% and 4.51%, while total protein content ranges from 4.55% to 9.95% [23]. Margaoan et al. (2017) analyzed male and queen bee larvae using HPLC-IR and reported that carbohydrates (glucose, sucrose, fructose) dominate their composition. Proteins were identified using the Soxhlet method, total protein content was determined via the Kjeldahl method, and free amino acids were analyzed using LC-MS. The study found 31 different amino acids in the larvae, nine of which are essential for humans. The moisture content was $73.25 \pm 0.02\%$, and protein content was $9.47 \pm 0.13\%$ [24].

A study in Russia examined the chemical components of male and queen bee larvae from four regions. Male larvae had amino acid levels of 15.45–16.28%, while queen larvae had 18.91–19.01%. Total amino acid content was 39.73–42.77%, 51.25–54.79%, and 44.74–47.70%, respectively [25].

Silici et al. (2019) investigated the chemical and antioxidant effects of apilarnil using HPLC-UV. Lysine was the most abundant amino acid (7,198 mg/100 g), while methionine was the least (500 mg/100 g). The study reported moisture, ash, protein, carbohydrate, and lipid contents as 4.43%, 4.07%, 48.75%, 21.62%, and 21.13 g/100 g, respectively [18]. A Romanian study compared the chemical content and antioxidant properties of propolis, royal jelly, and apilarnil. Fresh apilarnil had a water content of 68.54%, ash content below 1% (0.88%), and commercial samples had higher ash levels (1.45–1.89 mg/g). Macro-elements included phosphorus (1,233.00 mg), potassium (787.65 mg), magnesium (369.93 mg), calcium (284.23 mg), and sodium (144.02 mg). Freeze-dried apilarnil had a protein content of 117.25 mg/g and ash content of 1.89% [26].

Mararu et al. (2025) analyzed commercial and hive-collected apilarnil samples from Romania's Banat region. Commercial samples had higher amino acid content (127.51 mg/g) compared to hive-collected

samples (40.82 mg/g), possibly due to environmental or processing factors. The study emphasized significant compositional differences based on form and origin [27].

Research on frozen apilarnil and royal jelly reported an average total protein content of $7.23 \pm 1.92\%$ in seven apilarnil samples [28]. El-Wahed et al. (2024) analyzed male bee larvae, finding pH, moisture, total lipids, protein, flavonoids, and carbohydrates at 6.3 ± 0.00 , $74.67 \pm 0.10\%$, $3.65 \pm 0.32\%$, $8.80 \pm 1.01\%$, $13.16 \pm 0.94\%$, and $8.79 \pm 0.49\%$, respectively. GC-MS identified volatile compounds: esters (24%), ketones (23.84%), ethers (15.05%), alcohols (11.41%), fatty acids (10.06%), aldehydes (6.73%), amines (5.46%), and alkenes (5.53%) [29].

II. CONCLUSION

Apilarnil is a significant natural bee product due to its rich protein content and essential amino acids, which cannot be synthesized by humans. Research indicates that its composition varies based on geographical location, climatic conditions, collection methods, and processing forms. Therefore, further studies on apilarnil and its use in alternative medicine are needed.

REFERENCES

1. El-Guendouz, S., Lyoussi, B., & Miguel, M. G. (2020). Insight into the chemical composition and biological properties of Mediterranean royal jelly. *Journal of Apicultural Research*, *59*(5), 890-909.
2. Ghosh, S., Sohn, H. Y., Pyo, S. J., Jensen, A. B., Meyer-Rochow, V. B., & Jung, C. (2020). Nutritional composition of *Apis mellifera* drones from Korea and Denmark as a potential sustainable alternative food source: Comparison between developmental stages. *Foods*, *9*(4), 389.
3. Kalle, R., Stryamets, N., Cutuca, D. L., Prakofjewa, J., Fantinato, E., Svanberg, I., ... & Sõukand, R. (2025). Beekeepers as guardians of apitherapeutic knowledge in Estonia, SW Ukraine, and NE Italy. *Journal of ethnobiology and ethnomedicine*, *21*(1), 1-14.
4. Sidor, E., & Džugan, M. (2020). Drone brood homogenate as natural remedy for treating health care problem: a scientific and practical approach. *Molecules*, *25*(23), 5699.
5. Lecocq, A., Foley, K., & Jensen, A. B. (2018). Drone brood production in Danish apiaries and its potential for human consumption. *Journal of Apicultural Research*, *57*(3), 331-336.
6. Sidor, E., Miłek, M., Zaguła, G., Bocian, A., & Džugan, M. (2021). Searching for differences in chemical composition and biological activity of crude drone brood and royal jelly useful for their authentication. *Foods*, *10*(9), 2233.
7. Koşum, N., Yücel, B., Kandemir, Ç., Taşkın, T., Duru, M. E., Küçükaydın, S., Cornea-Cipcigan, M. (2022). Chemical composition and androgenic effect of bee drone larvae (Apilarnil) for Goat male kids. *Chemistry & Biodiversity*, *19*(8), e202200548.
8. Topal, E., Strant, M., Yücel, B., Kösoğlu, M., Mărgăoan, R., Dayıoğlu, M., 2018. Biochemical Properties and Apitherapeutic Usage of Queen Bee and Drone Larvae. *J. Anim. Prod.*, *59*(2):77-82.
9. Mateescu, C. 2011. Apiterapia sau Cum Sa Folosim Produsele Stupului Pentru Sanatate. ISBN 978-973-9250-90-0.
10. Mărgăoan, R., Mărghițaș, L. A., Dezmirean, D. S., Bobiș, O., Bonta, V., Cătană, C., Mureșan, C. I., Margin, M. G., 2017. Comparative Study on Quality Parameters of Royal Jelly, Apilarnil and Queen Bee Larvae Triturate. *Bulletin of the University of Agricultural Sciences & Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Animal Science & Biotechnologies*, *74*(1):51-58.
11. Rutka, I., Galoburda, R., Galins, J., & Galins, A. (2021). Bee drone brood homogenate chemical composition, Stabilization and application: A review. *Res. Rural. Dev*, *36*, 96-103.
12. Sforcin JM, Bankova V, Kuropatnicki AK. Medical benefits of honeybee products. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*. 2017.

13. Koşum, N., Yücel, B., Kandemir, Ç., Taşkın, T., Duru, M. E., Küçükaydın, S., ... & Cornea-Cipcigan, M. (2022). Chemical composition and androgenic effect of bee drone larvae (Apilarnil) for Goat male kids. *Chemistry & Biodiversity*, *19*(8), e202200548.
14. Sorucu, A. (2019). ARI ÜRÜNLERİ ve APİTERAPİ. *Veteriner Farmakoloji ve Toksikoloji Derneği Bülteni*, *10*(1), 1-15.
15. PARLAKPINAR, H ve Polat Seyhan, 2021. Apiterapi Ürünlerinin Biyokimyasal İçeriği.
16. Isidorov VA, Bakier S & Stocki M (2016). GC-MS investigation of the chemical composition of honeybee drone and queen larva homogenate. *Journal of Apicultural Science* *60*:111--120. <https://doi.org/10.1515/jas-2016-0011>
17. Yücel, B., Şahin, H., Yıldız, O., & Kolaylı, S. (2019). Apilarnilin Biyoaktif Bileşenleri Ve Etki Mekanizması. *Hayvansal Üretim*, *60*(2).
18. Silici, S. (2019). Chemical content and bioactive properties of drone larvae (Apilarnil). *Mellifera*, *19*(2), 14-22.
19. Tunca, R. İ., & Arslan, T. (2024). A little known bee product with the potential to become a functional food and nutritional supplement: Apilarnil. *Uludağ Arıcılık Dergisi*, *24*(2), 404-417.
20. Sabatini, A.G., Marcazzan, G.L., Caboni M.F., Bogdanov, S., Almeida-Muradian, L.B. (2009). Quality and standardisation of Royal Jelly. *Journal of ApiProduct and ApiMedical Science* nr. 1(1): p 1-6.
21. Sesta. G., 2006: Determination of sugars in royal jelly by HPLC. *Apidologie* nr. 37: p 84-90. [10] Stangaciu S., 1999: Apiteraphy course notes, Constanta, Apiteraphy Research Hospital Bucuresti, p :286.
22. Sawczuk, R., Karpinska, J., Filipowska, D., Bajguz, A., & Hryniewicka, M. (2022). Evaluation of total phenols content, anti-DPPH activity and the content of selected antioxidants in the honeybee drone brood homogenate. *Food Chemistry*, *368*, 130745.
23. Hu, F., & Li, Y. (2001, October). Nutritive value and pharmacological actions of Italian worker bee larvae and pupae. In *Proceedings of the 37th International Apicultural Congress* (Vol. 28).
24. Margaoan, R; Marghitas, La; Dezmirean, Ds; Bobis, O; Bonta, V; Catana, C; Urcan, A; Mureşan, Cı; Margin, Mg (2017). Comparative Study On Quality Parameters Of Royal Jelly, Apilarnil And Queen Bee Larvae Triturate. *Bulletin Of University Of Agricultural Sciences And Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Anim Sci Biotechnol* 74(1): 51-58.
25. Lazaryan, Ds (2002). Comparative amino acid analysis of bee brood. *Pharm Chem J*, 36(12): 680-682.
26. Moraru, D., Alexa, E., Cocan, I., Obiştioiu, D., Radulov, I., Simiz, E., ... & Pătruică, S. (2024). Chemical Characterization and Antioxidant Activity of Apilarnil, Royal Jelly, and Propolis Collected in Banat Region, Romania. *Applied sciences*, *14*(3), 1242.
27. Moraru, D., Alexia, E., Ciocan, I., Obiştioiu, D., Floares, D., Dragomirescu, M., ... & Pătruică, S. (2025). Characterization of Amino Acids, Polyphenols and Flavonoids of Some Bee Products Collected in the Banat Region. *SCIENTIFIC PAPERS ANIMAL SCIENCE AND BIOTECHNOLOGIES*, *58*(1), 118-123.
28. Bărnăuțiu, L. I., Mărghitaş, L. A., Dezmirean, D., Bobiş, O., Mihai, C., & Pavel, C. (2013). Physico-chemical composition of apilarnil (bee drone larvae).
29. Abd El-Wahed, A. A., Khalifa, S. A., Aldahmash, B., Zhang, H., Du, M., Zhao, C., ... & El-Seedi, H. R. (2024). Exploring the chemical constituents and nutritive potential of bee drone (Apilarnil): emphasis on antioxidant properties. *Chemistry & Biodiversity*, *21*(5), e202400085.

Prompt Yazmada Önemli Noktalar

Mahmud Zahid MUTLU^{1*}, M. Hanefi CALP²

^{1,2} Yönetim Bilişim Sistemleri / Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi / Türkiye

*(mahmud.mutlu@hbu.edu.tr)

Özet – Üretken yapay zekâ sistemleri günlük hayat, profesyonel iş hayatı, eğitim ve endüstriyel alanlara giderek daha fazla nüfuz etmektedir. Bu etkileşim, üretken yapay zekâ araçlarına dair prompt yazımının önemini önemli ölçüde arttırmaktadır. Yapay zekânın cevap verme davranışını yönlendiren metinsel ifadeler bütünlüğü olan prompt, üretilen çıktıların kalitesini ve istenilen çıktı ile ilgi düzeyini görmede belirleyici unsur olarak görülmektedir. Bu çalışma, üretken yapay zekâ uygulamalarında doğru çıktıya ulaşmanın temel ilkelerini incelemekte ve mevcut akademik literatürün gözden geçirilmesine dayalı olarak temel prompt prensiplerini belirlemektedir. Çalışmanın temel hedefi, üretken yapay zekâ modellerinin daha doğru, ilgili ve kullanıcının isteğiyle bağlamsal olarak uygun sonuçlar üretmesine rehberlik etmek için gerekli olan temel prensipleri belirlemektir. Çalışmada prompt oluşturma süreci ile temel prensipler ve aşamalar belirtilmiş, prompt mühendisliğinin bileşenleri üzerinden etkili prompt yazma prensipleri ortaya konulmuştur. Literatür incelemesinden elde edilen bulgular, etkili prompt yazma işleminin birbiriyle bağlantılı birçok bileşene dikkat edilmesini gerektirdiğini göstermektedir. Bu bileşenler dört ana kategori altında toplanmıştır.

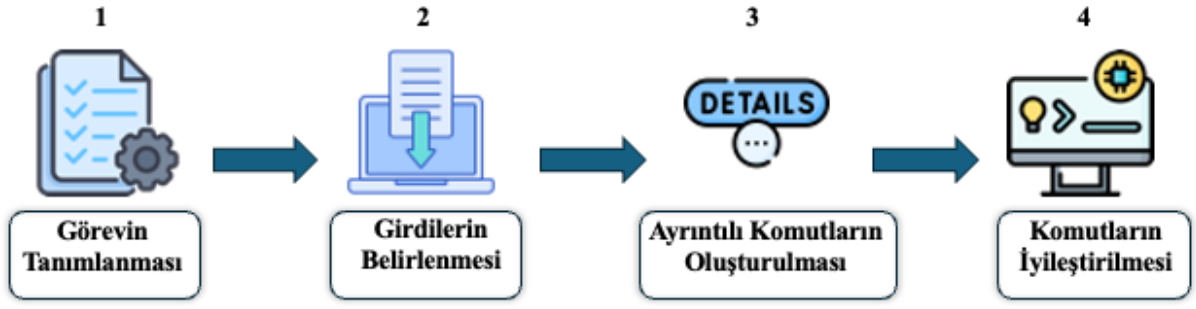
Anahtar Kelimeler – Üretken Yapay Zekâ, Prompt Mühendisliği, Prompt, Etkili Komut Verme, Prompt Optimizasyonu.

I. GİRİŞ

Üretken yapay zekânın, özellikle son dönemde ortaya çıkan büyük dil modellerinin (LLM) ortaya çıkışı, günlük yaşantıya da direkt etki eden bir bireylerin ve kuruluşların bilgi sistemleriyle etkileşim ve entegre hale geçmesini sağlayan bir yapıya dönüştürmüştür. Bu etkileşimin merkezinde, sistemin harekete geçmesini sağlamak için yapılması gereken metinsel bir talimat olan prompt (komut) kavramı yer almaktadır.

Prompt, kullanıcının yapay zekâ sistemine belirli bir görevi yerine getirmesi için veya hedeflenen içeriği üretmesi ya da düzeltmesi amacıyla verilen bir emir görevi gören girdidir. Kullanıcının girmiş olduğu promptlar, yapay zekâ modelinin çalışması ve davranışını yönlendirmede kritik bir rol oynamaktadır. Bir promptun kalitesi, prompt içeriğinin netliği, yazım biçimi ve ayrıntı düzeyiyle doğrudan ilişkilidir. İyi dizayn edilmiş promptlar, yapay zekâ sisteminin kullanıcı isteğine ve beklentilerine uygun sonuçlar üretmesi olasılığını önemli ölçüde arttırmaktadır[1].

Bakıldığında basit olarak görünen prompt işlemi, yapay zekâ tarafından üretilen yanıtların doğasını, tonunu, yapısını ve gerçekliğini şekillendirmede çok önemli bir rol oynamaktadır. Bu açıdan bakıldığında, hem bireysel ihtiyaçlar hem de profesyonel destek için oluşturulan promptların temel prensipleri yerine getirmesi gerekmektedir.



Şekil 1. Temel prompt oluşturma süreci

Prompt tasarımı, üretken yapay zekâ sistemlerinin etkili bir şekilde kullanılmasında kritik bir süreç olarak görülmektedir. Temel bir prompt oluşturma süreci, Şekil 1’de görüldüğü üzere dört temel aşama üzerinden kavramsallaştırılabilir.

İlk olarak, yapay zekâya prompt işleminden önce ulaşılması gereken hedefi anlamak ve belirlemek için görevin tanımlanması gerekmektedir. İyi tanımlanmış bir görev, yapay zekâ modelinin davranışını kullanıcının beklentisine göre düzenlemeye olanak sağlamaktadır. İkinci aşamada girdileri belirlenmesi gerekmektedir. Bu bağlamda modelin dikkate alması gereken ilgili verileri ve kullanıcının istemediği kısıtlamaların belirlenmesi gerekmektedir. Üçüncü aşama ise, ayrıntılı promptların oluşturulması, yani kullanıcıların hedeflerini, modelin üretim sürecine doğrudan etki eden tüm parametrelerin talimatlara dönüştürülmesidir. Son olarak, yapay zekâ tarafından üretilen çıktıların kalitesine ve istenilen çıktı ile uyumuna dayalı olarak ilk promptun yinelenmesini ve düzenlenmesini içeren promptların iyileştirilmesi adımı yer almaktadır [2,3,4].

Bu prensiplerin önemi açısından ortaya çıkan prompt mühendisliği, özellikle doğal dil işleme görevlerinde büyük dil modellerini etkin bir şekilde kullanmak için promptlar geliştirmeye ve optimize etmeye odaklanan nispeten yeni bir disiplindir [5]. Promptlar, yapay zekâ modellerinin çıktı kalitesini önemli ölçüde etkileyebilir ve metinden görüntüye oluşturma gibi görsel görevlerde de kullanılmaktadır [6].

Bu bağlamda, prompt yazımının temel ilkeleri dikkate alındığında, sürecin prompt mühendisliği perspektifiyle değerlendirilmesi daha uygun olacaktır. Bu çalışma, üretken yapay zekâ uygulamalarında doğru çıktıya ulaşmanın temel ilkelerini incelemekte ve mevcut akademik literatürün gözden geçirilmesine dayalı olarak temel prompt prensiplerini belirlemektedir.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, üretken yapay zekâ sistemlerinde etkili promptların oluşturulmasını sağlayan temel ilkeleri araştırmak için bir literatür taraması yapılmıştır. Çalışmanın amacı, üretken yapay zekâ modellerinin daha doğru, ilgili ve kullanıcının isteğiyle bağlamsal olarak uygun sonuçlar üretmesine rehberlik etmek ve bunun için gerekli olan temel prensipleri belirlemektir. Literatür desteği olarak Bilimsel kaynaklar, küresel ilgi düzeyini sağlamak için Web of Science (WoS) ve Scopus veri tabanları kullanılmıştır. Çalışmalardan elde edilen veriler ve bulgular değerlendirilerek temel prompt prensipleri için bütüncül bir sonuca ulaşılmıştır.

III. BULGULAR

Literatürden elde edilen çalışmalar ve mevcut yaklaşımlar incelendiğinde etkili prompt yazma işlemi için birbiriyle bağlantılı birçok bileşene dikkat edilmesi gerektiği ortaya çıkmaktadır. Tablo 1’e bakıldığında etkili ve doğru prompt yazma için gereken bileşenler listelenmiştir.

Tablo 1. Etkili Prompt Yazmak İçin Dikkat Edilmesi Gereken Bileşenler

Numara	Bileşen Adı
1	Prompt Formülasyonu
2	Cevap Mühendisliği
3	Çoklu Prompt Stratejileri
4	Gelişmiş Prompt Teknikleri

Prompt mühendisliğinde ilk temel unsur prompt formülasyonu olarak görülmektedir. Prompt mühendisliğinde "prompt formülasyonu", özellikle büyük dil modelleri başta olmak üzere yapay zekâ modellerine ne yapmaları gerektiğini söylemek için kullanılan metinsel talimatları yani promptları oluşturma sürecidir. Dolayısıyla bu adım, prompt mühendisliğinin ilk ve en temel adımıdır. Oluşturulan talimatlar, modelin davranışını yönlendirerek, kullanıcının istediği çıktıyı üretmesini sağlamaktadır. Burada temel amaç, model ile yapay zekâ arasında bir iletişim ağının oluşturulup modelin doğru ve kaliteli cevaplar vermesini sağlamaktır [7].

Bir diğer önemli unsur olan cevap mühendisliği, yapay zekâ sisteminden alınacak çıktının yapısal olarak nasıl şekillendirileceğini belirler. Yapay zekânın ürettiği cevaplar, tek tek kelimeler, kelime grupları veya daha uzun metinsel olarak biçimlendirilmiş yanıtlar olabilmektedir. Cevap mühendisliğinin temel amacı, istenilen prompta uygun olarak model çıktısının daha doğru ve konuya daha uygun cevap yapılarının ortaya çıkmasını sağlamaktır [7,8].

Diğer önemli husus ise, , özellikle karmaşık görevlerde çıktıların çeşitliliğini ve güvenilirliğini artırmak için tercih edilen çoklu prompt stratejileridir. Modelin işlem kapasitesini daha etkin kılmak ve elde edilen sonuçların kullanıcılar tarafından daha iyi anlaşılıp yorumlanabilmesi için bir görevin alt görevlere bölünmesi gerekmektedir[9]. Prompt birleştirme (ensembling), prompt genişletme (augmentation) ve prompt ayrıştırma (decomposition) gibi yöntemler, bir görevin daha yönetilebilir alt görevlere bölünmesine olanak tanır. Böylece daha anlaşılır bir yapı ortaya çıkmaktadır [7,10].

Son olarak, gelişmiş prompt teknikleri olarak adlandırılan yöntemler, yapay zekânın kendi algoritması içerisinde gerçekleşen sorgu süreçlerini harekete geçirmeyi amaçlar. Az sayıda örnekle öğrenme (few-shot öğrenme), düşünce zinciri (chain-of-thought) kullanımı, rol atama temelli yönlendirme ve düşünce ağacı (tree-of-thought) gibi bazı stratejiler, hem modelin çıktı doğruluğunu arttırmaya yönelik hem de çok aşamalı ve gerekçeli yanıtlar üretebilme kapasitesini de güçlendirmektedir. Bu durum sayesinde yapay zekânın kullanıcı isteğine uygun sonuçlar üretmesi ve daha tutarlı içerikler oluşturması mümkün olmaktadır[10].

Sonuç olarak, elde edilen bulgular, basit bir süreçten ibaret değil, çok boyutlu bir süreç olduğunu göstermektedir. Prompt formülasyonundan cevap mühendisliğine, çoklu stratejilerden gelişmiş yönlendirme tekniklerine kadar uzanan bu süreç, kullanıcının istedikleri çıktıya doğru bir şekilde ulaşabilmesi için yapay zekâyla arasında köprü görevi görmektedir. Bu çerçevede, doğru prompt kullanımı ve prompt mühendisliği kullanıcı ile yapay zekâ arasındaki etkileşimi sağlayan bir iletişim aracı olarak yer almaktadır. Literatürde yer alan yaklaşımlar, bu bileşenlerin bütüncül şekilde değerlendirilmesinin, kalite ve performans düzeyinin maksimize edilmesinde önemli bir unsur olduğunu ortaya koymaktadır.

IV. SONUÇLAR

Sonuç olarak, bu çalışma üretken yapay zekâ uygulamalarında prompt yazmanın temel ilkelerini belirlemiş ve literatür desteğiyle entegre bir şekilde sentezlemiştir. Çalışmada prompt netliği, prompt formülasyonu, cevap mühendisliği ve gelişmiş prompt teknikleri gibi temel boyutlar derinlemesine araştırılmıştır. Ortaya çıkan bulgular, etkili prompt mühendisliğinin, yapay zekâ çıktılarının kullanıcı beklentileriyle uyumlu hale getirilmesinde merkezi bir rol oynadığını açıkça göstermektedir. Üretken yapay zekâ araçlarının sürekli gelişimi göz önüne alındığında, prompt okuryazarlığının önemi giderek artacak ve

prompt mühendisliğinin eğitim ve mesleki gelişim çerçevelerine entegre edilmesi, kullanıcıların bu sistemlerle daha etkili bir şekilde etkileşim kurması için vazgeçilmez olacaktır.

Üretken yapay zekâ araçlarının gelişimi devam ettikçe, prompt okuryazarlığının önemi giderek daha da önemli hale gelecektir. Eğitim ve mesleki gelişim çerçevelerine prompt mühendisliğinin entegre edilmesi, kullanıcıların üretken yapay zekâ sistemleriyle daha etkili bir şekilde etkileşim kurmasını sağlamak için gerekli olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Liu, V., & Chilton, L. B. (2022c). Design guidelines for prompt Engineering Text-to-Image generative models. CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. <https://doi.org/10.1145/3491102.3501825>
- [2] Hewing, M., & Leinhos, V. (2024). The Prompt Canvas: A Literature-Based Practitioner Guide for creating effective prompts in large language models. arXiv (Cornell University). <https://doi.org/10.48550/arxiv.2412.05127>
- [3] Brown, T. B. (2020). Language models are few-shot learners. arXiv preprint arXiv:2005.14165.
- [4] Sclar, M., Choi, Y., Tsvetkov, Y., & Suhr, A. (2023). Quantifying Language Models' Sensitivity to Spurious Features in Prompt Design or: How I learned to start worrying about prompt formatting. arXiv (Cornell University). <https://doi.org/10.48550/arxiv.2310.11324>
- [5] Giray, L. (2023). Prompt Engineering with ChatGPT: A Guide for Academic Writers. *Annals of Biomedical Engineering*, 51(12), 2629–2633. <https://doi.org/10.1007/s10439-023-03272-4>
- [6] Liu, V., & Chilton, L. B. (2022b). Design guidelines for prompt Engineering Text-to-Image generative models. CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. <https://doi.org/10.1145/3491102.3501825>
- [7] Liu, P., Yuan, W., Fu, J., Jiang, Z., Hayashi, H., & Neubig, G. (2021). Pre-train, Prompt, and Predict: A systematic survey of prompting methods in natural language processing. arXiv (Cornell University). <https://doi.org/10.48550/arxiv.2107.13586>
- [8] Liu, Y., Ott, M., Goyal, N., Du, J., Joshi, M., Chen, D., Levy, O., Lewis, M., Zettlemoyer, L., & Stoyanov, V. (2019). ROBERTA: A robustly optimized BERT pretraining approach. arXiv (Cornell University). <https://doi.org/10.48550/arxiv.1907.11692>
- [9] Liu, Y., & Liu, P. (2021). SimCLS: A Simple Framework for Contrastive Learning of Abstractive Summarization. Association for Computational Linguistics. <https://doi.org/10.18653/v1/2021.acl-short.135>
- [10] Walter, Y. (2024). Embracing the future of Artificial Intelligence in the classroom: the relevance of AI literacy, prompt engineering, and critical thinking in modern education. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 21(1). <https://doi.org/10.1186/s41239-024-00448-3>

Biyomedikal Malzeme Tedarikinde Çok Kriterli Karar Verme Yaklaşımıyla Uygun Tedarikçi Seçimi

Ruveyda Belkıs Küyer¹, Beyza İpek Kaman¹, Yusuf Bera Sanlı¹ ve Hacı Mehmet Alakaş^{1*}

¹Endüstri Mühendisliği, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Kırıkkale Üniversitesi, Türkiye

*hmalagas@kku.edu.tr

Özet – Tedarikçi seçimi, özellikle sağlık sektöründe kritik bir öneme sahip olup, ürün kalitesi, hasta güvenliği ve yasal uygunluk açısından doğrudan etkiler barındırmaktadır. Bu çalışmada, biyomedikal malzeme üretiminde uygun tedarikçi seçimi problemi ele alınmış ve Çok Ölçütlü Karar Verme (ÇÖKV) tekniklerinden Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ile İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Sıralama Tekniği (TOPSIS) yöntemi birlikte kullanılmıştır. Ankara’da faaliyet gösteren bir biyomedikal üretim tesisinde gerçekleştirilen uygulamada, sekiz ana ve yirmi üç alt kriter doğrultusunda beş tedarikçi değerlendirilmiştir. AHP yöntemiyle kriter ağırlıkları belirlenmiş, TOPSIS yöntemiyle ise alternatif tedarikçiler sıralanmıştır. Sonuçlara göre en uygun tedarikçi A2 olarak belirlenmiş; biyouyumluluk, kalite ve belgelendirme gibi kriterlerin seçim sürecinde öncelikli olduğu görülmüştür. Çalışma, biyomedikal sektörde tedarikçi seçimi kararlarının yalnızca fiyat odaklı değil, aynı zamanda sağlık ve yasal uygunluk temelli stratejik değerlendirmelerle yapılması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler – Biyomedikal Malzeme, Tedarikçi Seçimi, Çok Ölçütlü Karar Verme, AHP, TOPSIS.

I. GİRİŞ

Küreselleşen dünyada işletmelerde varlığını sürdürebilmesi için yalnızca içsel süreçler değil dışsal süreçler de önemli rol oynamaktadır. Bu bağlamda tedarik, işletmelerin ihtiyaç duyduğu malzeme, hizmet ve bilginin dış kaynaklardan elde edilme sürecidir [1].

Tedarik zinciri, ürünün üretim sürecinden müşteriye ulaşmasına kadar geçen tüm faaliyetleri sürece kapsayan bütünleşmiş bir süreçtir. Tedarik zinciri yalnızca malzeme akışını değil aynı zamanda bilgi ve finansal akışları da sağlayan bir sistemdir [2].

Tedarik zincirinin en önemli yapılarından birisi de tedarikçi seçimidir. Doğru tedarikçi ile çalışmak, ürün sürekliliği, ürün kalitesi, stok yönetimi ve finansal sürdürülebilirlik açısından çok kritik bir önem göstermektedir [3].

Bu çerçevede biyomedikal ürün tedarik zinciri açısından hassas sektörlerden biri olarak ön plana çıkmaktadır. Özellikle kamuya bağlı sağlık kuruluşlarında yapılan alımlarda, mevzuat ve ihale kuralları da dikkate alınarak, tedarik zinciri süreçlerinin etkin bir şekilde planlanması gerekmektedir. Nitekim Sağlık Bakanlığı tarafından tanımlanan düzenlemeler, tıbbi ürünlerin sadece belirli kalite ve uygunluk belgelerine sahip firmalardan temin edilmesini zorunlu kılmaktadır [4].

Bu çalışma, biyomedikal malzeme tedarikçisinde doğru tedarikçiyi belirlemek amacıyla Çok Ölçütlü Karar Verme (ÇÖKV) yöntemlerinin stratejik bir planlama sürecinde nasıl kullanılabileceğini ortaya koymayı amaçlamaktadır. Bu kapsamda, Ankara’da faaliyet gösteren bir biyomedikal üretim tesisinde beş tedarikçi, sekiz ana ve yirmi üç alt kriter doğrultusunda değerlendirilmiştir. Kriter ağırlıkları Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ile belirlenmiş; bu ağırlıklar kullanılarak İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Sıralama Tekniği (TOPSIS) yöntemiyle tedarikçiler sıralanmıştır.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Çok sayıda kriterin ve alternatifin değerlendirilmesini gerektiren durumlarda seçim problemi, ÇÖKV yöntemleri kullanılarak çözülebilmektedir. Projede, kriterlerin ağırlıklandırılması için AHP yöntemi tercih edilmiş; alternatif tedarikçilerin değerlendirilmesi ve sıralanması ise TOPSIS ile gerçekleştirilmiştir. Çok sayıda kriterin ve alternatifin değerlendirilmesini gerektiren durumlarda seçim problemi, ÇÖKV yöntemleri kullanılarak çözülebilmektedir. Projede, kriterlerin ağırlıklandırılması için AHP yöntemi tercih edilmiş; alternatif tedarikçilerin değerlendirilmesi ve sıralanması ise TOPSIS ile gerçekleştirilmiştir.

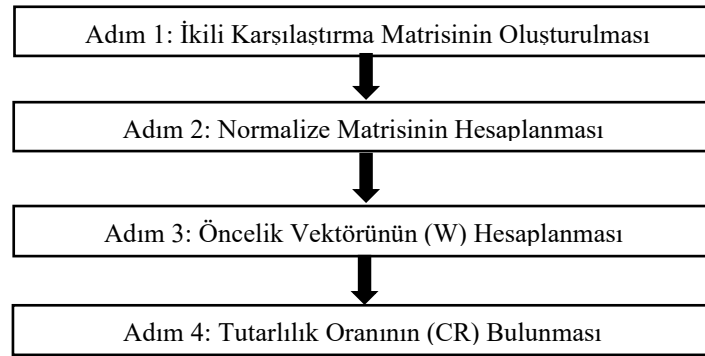
A. Analitik Hiyerarşi Prosesi

Analitik hiyerarşi süreci, 1970'li yılların ortasın Pensilvanya Üniversitesinden Thomas L. Saaty tarafından geliştirilen karar verme için kullanılan matematiksel temelli bir teoridir [5]. Her kriter, diğerlerine göre ne kadar önemli olduğu 1-9 arası puanlama sistemi ile değerlendirilir ve bu hesaplama sonucunda kriter ağırlıkları elde edilir. Aynı yöntem, alt kriterler ve alternatifler için de uygulanabilir. Bu yöntemin en önemli avantajı, karar vericinin hem nesnel hem de öznel değerlendirmelerini karar alma sürecine yansıtabilmesine olanak sağlamasıdır [6]. AHP yönteminin ikili karşılaştırma ölçeği Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. İkili karşılaştırma ölçeği (Saaty, 1980)

Değerler	Önem Düzeyleri
1	İki faktörün eşit derecede önemli olması
3	İlk faktörün ikinci faktörden orta derecede önemli olması
5	İlk faktörün ikinci faktörden kuvvetli derecede önemli olması
7	İlk faktörün ikinci faktörden çok kuvvetli derecede önemli olması
9	İlk faktörün ikinci faktörden mutlak derecede önemli olması
2,4,6,8	Ara değerler

AHP yönteminin aşamaları Şekil 1'de verilmiştir.



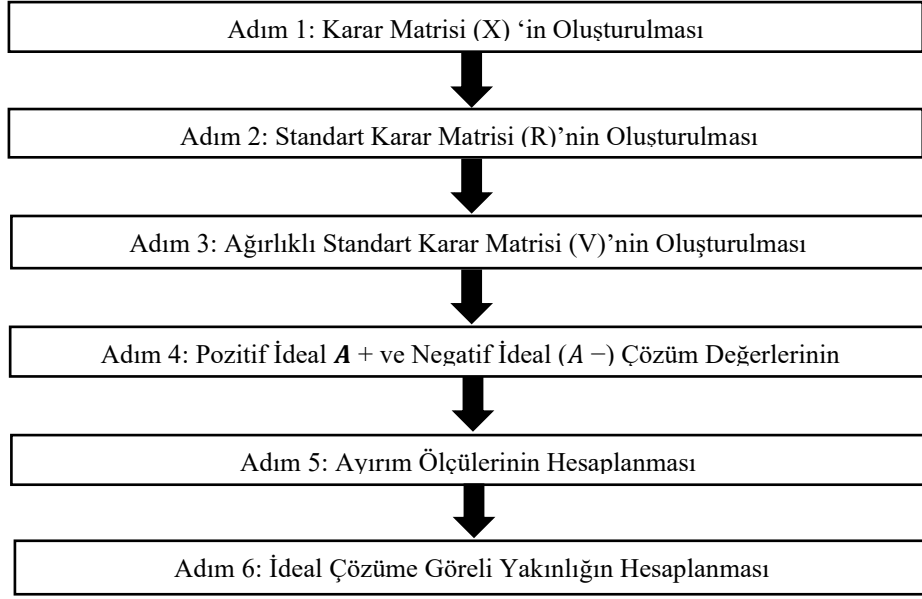
Şekil 1. AHP adımları

Tutarlılık oranı 0.1'den küçük ve eşit olması durumunda, ikili karşılaştırma matrisinin tutarlı olduğu ve belirlenen kriter ağırlıklarının geçerli olduğu sonucuna ulaşılır [7].

B. TOPSIS Yöntemi

TOPSIS, Hwang ve Yoon [8] tarafından ÇÖKV tekniği olarak geliştirilmiştir. Her bir alternatifin ideal çözüme olan yakınlığı ve negatif ideal çözüme olan uzaklığı esas alınarak karar verilmesini sağlar. Bu yönüyle, karar vericiye alternatifler arasında sistematik bir sıralama yapma imkânı sunar.

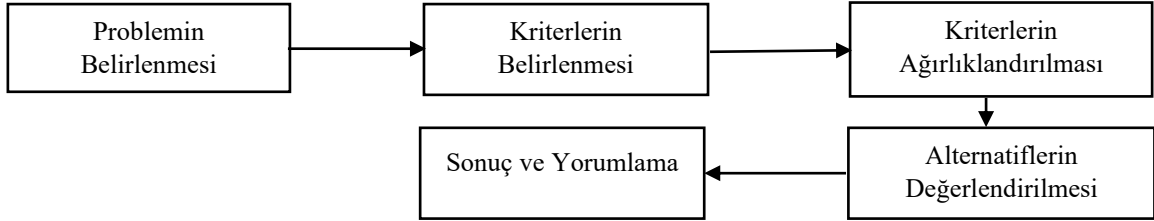
TOPSIS yönteminin aşamaları Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. TOPSIS adımları

III. BULGULAR

Uygulama bölümü içeriğini belirten akış şeması Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Akış şeması

A. Problem Tanımı

Biyomedikal malzeme üretimi, doğrudan insan sağlığıyla ilgili olduğu için oldukça dikkatli yürütülmesi gereken bir süreçtir. Bu ürünlerde kullanılacak hammaddelerin güvenilir ve kaliteli olması, hem ürünün başarısı hem de insan sağlığı açısından büyük önem taşır. Bu yüzden, doğru tedarikçiyi seçmek üretim sürecinin en kritik adımlarından biridir. Tedarikçilerin kalite belgeleri, teslimat süresi, teknik destek gibi birçok farklı özelliği değerlendirilmelidir. Bu durum, karar sürecini karmaşıklaştırmaktadır. Bu sebeple çalışmada uygun tedarikçiyi daha sistematik ve mantıklı bir şekilde belirleyebilmek için ÇÖKV yöntemlerinden yararlanılmıştır. Bu yöntemler sayesinde, farklı kriterler aynı anda değerlendirilebilmiş ve optimal tedarikçi belirlenmiştir.

B. Kriterlerin Belirlenmesi

Biyomedikal malzemesi tedarikçi seçimi için literatür taraması ve uzman görüşleri sonucunda kriterler belirlenmiştir. Belirlenen sekiz kriter ve yirmi üç alt kriter açıklamaları ile Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Kriterler ve açıklamaları

Kriterler	Açıklama	Alt Kriterler	Açıklama
Kalite-K1 [9]	Medikal malzemelerde kalite, insan sağlığıyla doğrudan ilişkisi nedeniyle tedarikçi seçiminde öncelikli kriterdir.	Ürün Kalitesi [10]	Kaliteli ürün sunan tedarikçiler, müşteri memnuniyeti ve marka güvenilirliği sağlayarak uzun vadeli iş birliğine katkı sunar
		Hatasız Ürün Miktarı [11]	Hatasız üretim yeteneği yüksek tedarikçiler, kaliteyi artırarak maliyetleri düşürür ve güvenilir iş birliği sağlar.
Fiyat-K2 (Uzman görüşü)	Fiyat, kaliteyi koruyarak maliyetleri dengelemek adına tedarikçi seçiminde önemli bir kriterdir.	Ürün Fiyat Uygunluğu [12]	Tedarikçi seçiminde fiyat önemlidir, ancak sürdürülebilirlik için toplam değer de dikkate alınmalıdır.
		Satın Alma İskontosu [13]	Satın alma iskontosu, maliyet avantajı sağlayarak uzun vadeli iş birliğini teşvik eder.
		Tedarikçi Ödeme Vadesi [14]	Esnek ödeme vadeleri, nakit akışı ve finansal esneklik için tedarikçi seçiminde avantaj sağlar.
Teslimat-K3 [9]	Teslimat takvimine uyum, medikal üretimde güvenilir tedarik zinciri için hayati önemdedir.	Zamanında Teslim [15]	Zamanında teslimat, üretim ve tedarik zincirinin kesintisiz işlemesi ve işletmenin rekabet gücünü koruması için kritik öneme sahiptir.
		Paketleme Kabiliyeti (Uzman görüşü)	Paketleme kabiliyeti, ürün güvenliği ve çevre dostu sunumla müşteri memnuniyeti ile işletme imajını artırır.
		Malın Sevkiyat Şekli [2]	Sevkiyat şekli, zamanında ve hasarsız teslimi etkiler; izlenebilir ve esnek altyapı güvenilirliği artırır.
Biyouyumluluk ve Malzeme Uygunluğu-K4 [16]	Biyouyumluluk, medikal malzemelerin vücutla uyumunu ve olumsuz reaksiyonları önlemesini sağlar; tedarikçi seçiminde hasta sağlığı için önemlidir.	Biyouyumluluk Testlerine Uygunluk [17]	Biyomedikal ve dental ürünlerde biyouyumluluk, dokulara zarar vermeyen ve sağlık standartlarına uygun malzemenin testlerle onaylanmasıdır
		Zararlı Madde İçermeme [18]	Biyomedikal ürünlerde zararlı madde bulunmaması hasta güvenliği için kritik olup, bazı bileşenler alerji ve doku irritasyonuna neden olabilir.
		Kullanılan Malzemenin Uluslararası Standartlarına Uygunluğu [19]	Biyomedikal malzemelerin uluslararası standartlara uygunluğu, kalite, hasta güvenliği ve rekabet avantajı sağlar.
Hizmet-K5 [9]	Tedarikçinin kaliteli hizmeti, satış sonrası destek ve hızlı çözüm, üretim sürekliliği ve iş birliği için kritik önemdedir.	İletişim Kolaylığı [20]	Tedarikçi ile kolay iletişim, hızlı çözüm ve güvenle iş birliğini güçlendirir.
		Sorunlara Yaklaşım [21]	Tedarikçinin hızlı ve çözüm odaklı yaklaşımı, sürdürülebilir iş birliği ve güven sağlar.
		Şikâyet Politikaları (Uzman görüşü)	Tedarikçinin etkin şikâyet yönetimi, müşteri memnuniyeti ve güvenilir iş ilişkisi sağlar.
Belgelendirme ve Sertifikasyon-K6 [22]	Sağlık sektöründe kalite belgelendirme sistemi zorunlu olup, hastane performansını ve mali kaynakları doğrudan etkiler.	Ürün Bazlı Sertifikasyon [23]	Biyomedikal ürün sertifikaları kaliteyi gösterir, ancak düzenli denetim ve şeffaflık güven için şarttır.
		Sertifikasyon Güncelliği (Uzman görüşü)	Sertifikaların güncelliği, tedarikçinin standartlara uygun ve düzenli denetlendiğini gösterir.
		Yasal Zorunluluklara Uygunluk Belgeleri [24]	Biyomedikal sektörde yasal belgeler ürün güvenliği sağlar; 2017/745/AB Yönetmeliği ile denetimler güçlendirilmiştir.
Tedarikçi ve Performans İzleme-K7 [25]	Medikal malzeme üretiminde zamanında teslimat, kalite ve iletişim kritik olup, iç kontrol süreçleri performansı artırır.	Geçmiş Sipariş Zamanında Teslimat Oranı [26]	Zamanında teslimat, biyomedikal üretimde süreklilik ve acil ihtiyaçlar için kritik bir göstergedir.
		İyileştirme Ve Aksiyon Planlarına Uyum Düzeyi [27]	Tedarikçi performans değerlendirmesi, verimli kaynak kullanımı ve sürekli iyileşme ile biyomedikal ürün güvenliğinde kritik öneme sahiptir.

		Kalite Hatalarının Frekansı ve Giderilme Süresi [28]	Küresel rekabette biyomedikal tedarikçiler, düşük hata ve hızlı müdahale ile güvenilirlik ve hasta güvenliğini sağlar.
	İzlenebilirlik, medikal üretimde şeffaflık ve kalite kontrolü sağlayan kritik bir sistemdir.	Tedarik Zinciri Boyunca Dijital İzlenebilirlik Altyapısı [30]	Dijital izlenebilirlik, biyomedikal üretimde şeffaflık ve yasal uyumluluk için kritik rol oynar.
İzlenebilirlik ve Geriye Dönük Takip-K8 [29]		Hammadde ve Üretim Lot Numarası Takibi Yapılabilirliği (Uzman görüşü)	Hammadde ve lot takibi, biyomedikal ürünlerde hızlı müdahale ve hasta güvenliği için kritik önemdedir.
		Ürün Sevkiyat Geçmişine Erişim İmkânı (Uzman görüşü)	Sevkiyat geçmişi, teslimat şeffaflığı ve risk yönetimini artırır.

C. Alternatiflerin Belirlenmesi

Biyomedikal malzeme tedarikinde en uygun tedarikçiyi seçmek, oldukça kapsamlı bir karar verme süreci gerektirir. Bu sürecin ilk ve en kritik adımı, değerlendirmeye alınacak potansiyel tedarikçileri dikkatlice belirlemektir. Biyomedikal malzeme alımı için beş farklı tedarikçi alternatifi belirlenmiştir.

D. AHP ile Kriterlerin Ağırlıklandırılması

Ana kriterlerin ikili karşılaştırması Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. AHP ikili karşılaştırma matrisi

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
K1	1,00	4,00	5,00	4,00	0,50	1,00	2,00	2,00
K2	0,30	1,00	2,00	2,00	0,20	0,30	0,50	0,30
K3	0,20	0,50	1,00	2,00	0,20	0,50	1,00	0,50
K4	0,30	0,50	0,50	1,00	0,30	0,50	1,00	1,00
K5	2,00	6,00	5,00	4,00	1,00	2,00	3,00	3,00
K6	1,00	3,00	2,00	2,00	0,50	1,00	2,00	2,00
K7	0,50	2,00	1,00	1,00	0,30	0,50	1,00	2,00
K8	0,50	3,00	2,00	1,00	0,30	0,50	0,50	1,00
Tutarlılık oranı	0,0504							

Uygulama sonucunda en önemli kriter 0,2879 ile biyoyumluluk kriteri (K5) olarak bulunurken en önemsiz kriter ise 0,0607 ile hizmet kriteri (K4) olarak bulunmuştur. Tutarlılık oranı 0,0504 olduğu görülmektedir. AHP ile elde etmiş olduğumuz kriter ağırlıkları ise EK1 Tablo 15'te verilmiştir.

Kalite kriterine bağlı alt kriterlerinin ikili karşılaştırılması Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 2. Kalite ana kriterine bağlı alt kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi

	AK1	AK2
AK1	1,00	1,00
AK2	1,00	1,00

Uygulama sonucunda 0,5 ile ürün kalitesi ve hatasız ürün miktarı kriterlerin eşit derece önemli olduğu belirlenmiştir. Elde edilen ağırlıklar EK1 Tablo 15'te verilmiştir.

Fiyat kriterine bağlı alt kriterlerinin ikili karşılaştırılması Tablo 6'da gösterilmiştir.

Tablo 6. Fiyat ana kriterine bağlı alt kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi

	AK3	AK4	AK5
AK3	1,00	3,00	5,00
AK4	0,33	1,00	3,00
AK5	0,20	0,33	1,00

Kriterlerin karşılaştırılması sonucunda 0,6333 ile ürün fiyat uygunluğu en önemli alt kriter olarak tespit edilmiştir. Bu kriteri 0,2605 ile satın alma fiyat iskontosu ve 0,1062 ile tedarikçi ödeme vadesi kriterlerinin takip ettiği EK1 Tablo 15'te görülmüştür.

Teslimat kriterine bağlı alt kriterlerinin ikili karşılaştırılması Tablo 7'da gösterilmiştir.

Tablo 7. Teslimat ana kriterine bağlı alt kriterler için ikili karşılaştırma matrisi

	AK6	AK7	AK8
AK6	1,00	4,00	6,00
AK7	0,25	1,00	3,00
AK8	0,16	0,33	1,00

Teslimat ana kriterine bağlı alt kriterlerin karşılaştırılması sonucunda 0,685 ile zamanında teslim en önemli alt kriter olarak tespit edilmiştir. Bunu sırasıyla 0,221 ile paketleme kabiliyeti ve 0,093 ile malın sevkiyat şekli kriterlerinin takip ettiği EK1 Tablo 15'te görülmüştür

Hizmet kriterine bağlı alt kriterlerinin ikili karşılaştırılması Tablo 8'de gösterilmiştir.

Tablo 8. Hizmet ana kriterine bağlı alt kriterler için ikili karşılaştırma matrisi

	AK9	AK10	AK11
AK9	1,00	0,50	0,33
AK10	2,00	1,00	0,50
AK11	3,00	2,00	1,00

Hizmet ana kriterine bağlı alt kriterlerin karşılaştırılması sonucunda 0,539 ile iletişim kolaylığı en önemli alt kriter olarak tespit edilmiştir. Bunu sırasıyla 0,297 ile sorunlara yaklaşım ve 0,164 ile iletişim kolaylığı kriterlerinin takip ettiği EK1 Tablo 15'te görülmüştür.

Biyouyumluluk kriterine bağlı alt kriterlerinin ikili karşılaştırılması Tablo 9'da gösterilmiştir.

Tablo 9. Biyouyumluluk ana kriterine bağlı alt kriterler için ikili karşılaştırma matrisi

	AK12	AK13	AK14
AK12	1,00	2,00	3,00
AK13	0,50	1,00	2,00
AK14	0,33	0,50	1,00

Biyouyumluluk ana kriterine bağlı alt kriterlerin karşılaştırılması sonucunda 0,539 ile biyouyumluluk testlerine uygunluk en önemli alt kriter olarak tespit edilmiştir. Bunu sırasıyla 0,297 ile zararlı madde içermeme ve 0,163 ile kullanılan malzemelerin uluslararası standartlara uygunluğu kriterlerinin takip ettiği EK1 Tablo 15'te görülmüştür.

Belgelendirme kriterine bağlı alt kriterlerinin ikili karşılaştırılması Tablo 10'da gösterilmiştir.

Tablo 10. Belgelendirme ana kriterine bağlı alt kriterler için ikili karşılaştırma matrisi

	AK15	AK16	AK17
AK15	1,00	2,00	4,00
AK16	0,50	1,00	2,00
AK17	0,25	0,50	1,00

Belgelendirme ana kriterine bağlı alt kriterlerin karşılaştırılması sonucunda 0,571 ile ürün bazlı sertifikalar en önemli alt kriter olarak tespit edilmiştir. Bunu sırasıyla 0,285 ile sertifikaların güncelliği ve 0,142 ile yasal zorunluluklara uygunluk belgeleri kriterlerinin takip ettiği EK1 Tablo 15'te görülmüştür.

Tedarikçi ve performans kriterine bağlı alt kriterlerinin ikili karşılaştırılması Tablo 11'de gösterilmiştir.

Tablo 11. Tedarikçi ve performans ana kriterine bağlı alt kriterler için ikili karşılaştırma matrisi

	AK18	AK19	AK20
AK18	1,00	3,00	5,00
AK19	0,33	1,00	3,00
AK20	0,20	0,33	1,00

Tedarikçi ve performans ana kriterine bağlı alt kriterlerin karşılaştırılması sonucunda 0,633 ile geçmiş siparişlerin zamanında teslim oranı en önemli alt kriter olarak tespit edilmiştir. Bunu sırasıyla 0,260 ile iyileştirme ve aksiyon planlarına uyum düzeyi ve 0,106 ile kalite hatalarının frekansı ve giderilme süresi kriterlerinin takip ettiği EK1 Tablo 15'te görülmüştür.

İzlenebilirlik ve geriye dönük takip kriterine bağlı alt kriterlerinin ikili karşılaştırılması Tablo 12'de gösterilmiştir.

Tablo 12. İzlenebilirlik ve geriye dönük takip ana kriterine bağlı alt kriterler için ikili karşılaştırma matrisi

	AK21	AK22	AK23
AK21	1,00	3,00	4,00
AK22	0,33	1,00	2,00
AK23	0,25	0,50	1,00

İzlenebilirlik ve geriye dönük takip ana kriterine bağlı alt kriterlerin karşılaştırılması sonucunda 0,623 ile tedarik zinciri boyunca dijital izlenebilirlik altyapısı en önemli alt kriter olarak tespit edilmiştir. Bunu sırasıyla 0,239 ile hammadde ve üretim lot numarası takibi yapılabilirliği ve 0,137 ile ürün sevkiyat geçmişine erişim imkanı kriterlerinin takip ettiği EK1 Tablo 15'te görülmüştür.

E. TOPSIS ile Alternatiflerin Sıralanması

AHP yöntemi ile belirlenen kriter ağırlıkları kullanılarak elde edilen ikili karşılaştırma matrisi Tablo 13'te verilmiştir.

Tablo 13. TOPSIS ikili karşılaştırma matrisi

Alt Kriterler	AK1	AK2	AK3	AK4	AK5	AK6	AK7	AK8	AK9	AK10	AK11
A1	9	8	7	5	6	9	5	8	7	8	9
A2	8	8	6	4	5	8	8	8	6	8	8
A3	7	7	8	7	8	7	6	7	6	6	7
A4	8	8	8	6	6	7	6	6	7	7	7
A5	7	7	7	5	6	6	7	6	5	6	6

Alt Kriterler	AK12	AK13	AK14	AK15	AK16	AK17	AK18	AK19	AK20	AK21	AK22	AK23
A1	7	9	9	8	10	7	8	9	9	6	8	6
A2	8	8	7	9	8	9	8	8	7	7	7	7
A3	6	6	6	6	6	6	7	6	6	5	5	6
A4	7	7	6	6	6	6	7	6	7	6	6	6
A5	7	7	6	6	6	6	6	6	6	5	5	5

TOPSIS sonucunda ilk sıradaki alternatif A1, ikinci sırada A5 ve üçüncü sırada A3 yer almaktadır. TOPSIS ile elde edilen sıralama ise Tablo 14’te verilmiştir.

Tablo 14. Alternatiflerin sıralanması

Alternatifler	İdeale Yakınlık
A1	0,195
A5	0,524
A3	0,540
A4	0,559
A2	0,593

IV. SONUÇLAR

Tedarikçi seçiminde ideal bir tedarikçiyi belirlemek oldukça önemlidir. Uygulama Ankara’da sağlık sektöründe faaliyet gösteren bir biyomedikal malzeme üretim fabrikasında gerçekleştirilmiştir. Fabrikanın satın alma sorumlusu ile görüşülerek literatürde tedarikçi seçimi için kullanılan kriterler gözden geçirilmiş ve hammadde tedarikinde önemli görülen kriterler belirlenmiştir. Fabrikanın 5 tedarikçisi 8 ana kriter ve 23 alt kriter olmak üzere toplam kritere göre değerlendirilmiştir. AHP yöntemi ile kriterlerin önem düzeylerini belirledikten sonra TOPSIS yöntemi ile beş tedarikçi firma arasında en ideal olanı belirlenmiştir.

İkili karşılaştırmalarda bütün matrislerin tutarlılık oranlarının 0,10’un altında olduğu görülmüştür ve değerlendirmenin güvenilir olduğu kanısına varılmıştır. Bu çalışmada, beş farklı tedarikçi belirlenen çok kriterli değerlendirme sistemiyle analiz edilmiştir. TOPSIS yöntemi kullanılarak yapılan değerlendirmede, her tedarikçi belirlenen kriterler doğrultusunda puanlandırılmış ve ideal çözüme göre yakınlık değerleri hesaplanmıştır. Analiz sonucunda, A2 tedarikçisi en uygun tedarikçi olarak belirlenmiştir. Onu sırasıyla A4, A3, A5 ve A1 olarak sonuçlanmıştır. Bu noktada, bu işletmenin tedarik süreçlerinde A2 tedarikçisi ile iş birliğini öncelikli hale getirilmesi önerilmektedir. Ayrıca, diğer tedarikçilerin belirlenen kriterlerdeki eksikliklerini gözden geçirerek performanslarını artırmaları, ilerideki tedarikçi seçimlerinde rekabeti artıracaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Güzel, L., & Sayan, İ. (2023). Toplam kalite yönetiminin tedarik zinciri yönetimi üzerindeki etkisi. Verimlilik Dergisi, 57(3), 533-548.
- [2] Özdemir, A. (2015). Tedarikçi seçiminde karar modelleri ve bir uygulama denemesi (Doctoral Dissertation, Anadolu University (Turkey)).
- [3] Arpacı, Ö. Y. (2019). İşletmelerde dış kaynak kullanımı ve inovasyon ilişkisi. (Doctoral dissertation, Pamukkale Üniversitesi)

- [4] Satır, E., & Köse, A. (2025). Tedarik zinciri yönetimi ve tedarikçi seçim kriterlerinin değerlendirilmesi: medikal ürünlere yönelik bir uygulama. *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 34(1), 25-49.
- [5] Saaty, T.L. (1980). *Analitik hiyerarşi süreci*. McGraw-Hill, New York.
- [6] Kuruüzüm, A., & Atsan, N. (2001). Analitik hiyerarşi yöntemi ve işletmecilik alanındaki uygulamaları. *Akdeniz IIBF Dergisi*, 1(1), 83-105.
- [7] Güner, H., (2005). AHP ve bir işletme için tedarikçi seçimi problemine uygulanması. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Denizli.
- [8] Hwang, CL & Yoon, K. (1981) *Çoklu Nitelikli Karar Verme: yöntemler ve uygulamalar*. Springer-Verlag, New York.
- [9] Akman, G., & Alkan, A. (2006). Tedarik zinciri yönetiminde bulanık AHP yöntemi kullanılarak tedarikçilerin performansının ölçülmesi: otomotiv yan sanayiinde bir uygulama. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 5(9), 23-46.
- [10] Tunca, M. Z., & Bayhan, M. (2012). Kalite fonksiyon göçerimi yönteminin tedarikçi seçiminde kullanımı. *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (11), 53-69.
- [11] Kasapoğlu, Ö. A., & Yurder, Y. (2013). Tedarikçi seçim kararında analitik ağ süreci uygulaması. *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 15(1), 163-195.
- [12] Karaatlı, M., & Davras, G. (2014). Tedarikçi seçiminde analitik hiyerarşi prosesi ve hedef programlama yöntemlerinin kombinasyonu: otel işletmelerinde bir uygulama. *Journal of Management and Economics Research*, 12(24), 182-196.
- [13] Deran, A. (2008). Stratejik bir karar verme aracı olarak yaşam seyri maliyet analizlerinin tedarik sürecindeki yeri ve önemi. *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 17(2), 465-484.
- [14] Bilişik, M. T. (2020). Kağıt imalat sektöründe tedarikçi seçiminde analitik ağ süreci yöntemi. *Adıyaman Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (35), 582-599.
- [15] Ecer, F., & Küçük, O. (2008). Tedarikçi seçiminde analitik hiyerarşi yöntemi ve bir uygulama. *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 11(1), 355-369.
- [16] Güven, Ş. (2014). Biyoyuumluluk ve biyomalzemelerin seçimi. *Mühendislik Bilimleri Ve Tasarım Dergisi*, 2(3), 303-311.
- [17] Uzun, İ. H., & Bayındır, F. (2011). Dental materyallerin biyoyuumluluk test yöntemleri. *Gazi Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 28(2), 115-122.
- [18] Gül, P., & Akgül, N. (2013). Kompozit materyallerin biyoyuumluluğu hakkında literatür derlemesi. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 23.
- [19] Seyhan, F. (2018). Sağlık hizmetlerinde kullanılan MR cihazlarının tedarik süreci, küresel ve yerel pazardaki konumunun değerlendirilmesi. *Sağlık Akademisyenleri Dergisi*, 5(2), 87-96.
- [20] Supçiller, A., & Çapraz, O. (2011). AHP-TOPSIS yöntemine dayalı tedarikçi seçimi uygulaması. *Istanbul University Econometrics And Statistics E-Journal*, (13), 1-22.
- [21] Özyörük, B., & Özcan, E. C. (2008). Analitik hiyerarşi sürecinin tedarikçi seçiminde uygulanması: otomotiv sektöründen bir örnek. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 13(1), 133-144.
- [22] Etöz, S. D., & Gökdayı, İ. (2008). Sağlık hizmetlerinde kalite belgelendirme sistemleri ve akreditasyon. *Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kamu Yönetimi Ana Bilim Dalı, Isparta*.
- [23] Aslan, H., & Aslan, I. (2022). Gıda ve içeceklerdeki helal sertifikaların ve logoların önemi ve suistimalleri. In *8th International Mardin Artuklu Scientific Researches Conference, Mardin, Türkiye* (Pp. 04-06).
- [24] Aydoğdu, M. (2023). 2017/745/AB tıbbi cihaz regülasyonunun 93/42/EEC tıbbi cihaz direktifinden farklılıkları ve getirdiği yenilikler üzerine bir araştırma çalışması. *İstanbul Kültür Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Türkiye*
- [25] Kazan, G. (2023). Tedarik zinciri yönetiminde iç kontrol: verimliliğin ve risk yönetiminin artırılması. *Denetişim*, (28), 123-136.
- [26] Yılmaz, C., Atsan, B., & Sarı, T. (2020). Tedarik zinciri süreçlerinin ölçüm ve iyileştirilmesinde bir scor modeli uygulaması. *Yönetim ve Ekonomi Dergisi*, 27(3), 425-444.
- [27] Murat, Y. S. (2006). Tedarik zinciri yönetiminde tedarikçi performansı değerlendirme ve tedarikçi sayısının azaltılması. Yüksek lisans tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- [28] Yıldırım, S. (2009). İşletmelerde tedarik zinciri yönetimi ve toplam kalite yönetimi ilişkisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Vizyoner Dergisi*, 1(1), 175-191.
- [29] Çankaya, S. Y. (2021). Tedarik zinciri izlenebilirliğinin önündeki engellerin dematel yöntemiyle değerlendirilmesi. *Journal of Research in Business*, 6(2), 357-380.
- [30] Öztemiz, H. (2023). Dijital tedarik zinciri yönetimi ve tedarik zincirinde dijital uygulamalar konusundaki yayınların bibliyometrik analizi (1995-2023) ve gelecek araştırmalar için fırsatlar. *Journal of Research in Business*, 8(2), 377-410.

EKLER

EK1.

Tablo 15. Kriterlerin yerel ve global ağırlıkları

Ana Kriterler	Ağırlıklar	Alt Kriterler	Yerel Ağırlıklar	Global Ağırlıklar
Kalite	0,1928	Ürün Kalitesi	0,500	0,096
		Hatasız Ürün Miktarı	0,500	0,096
Maliyet	0,0621	Ürün Fiyat Uygunluğu	0,633	0,039
		Satın Alma Fiyat İskontosu	0,260	0,016
		Tedarikçi Ödeme Vadesi	0,106	0,007
Teslimat	0,0631	Zamanında Teslim	0,685	0,043
		Paketleme Kabiliyeti	0,221	0,043
		Malın Sevkiyat Şekli	0,093	0,043
Hizmet	0,0607	Şikayet Politikaları	0,164	0,010
		Sorunlara Yaklaşım	0,297	0,018
		İletişim Kolaylığı	0,539	0,033
Biyouyumluluk	0,2879	Biyouyumluluk Testlerine Uygunluk	0,539	0,155
		Zararlı Madde İçermeme	0,297	0,086
		Kullanılan Malzemenin Uluslararası Standartlara Uygunluğu	0,164	0,047
Belgelendirme	0,1515	Ürün Bazlı Sertifikalar	0,571	0,087
		Sertifikaların Güncelliği	0,286	0,043
		Yasal Zorunluluklara Uygunluk Belgeleri	0,143	0,022
Tedarikçi	0,0926	Geçmiş Siparişlerin Zamanında Teslim Oranı	0,633	0,059
		İyileştirme ve Aksiyon Planlarına Uyum Düzeyi	0,260	0,024
		Kalite Hatalarının Frekansı ve Giderilme Süresi	0,106	0,010
İzlenebilirlik	0,0894	Tedarik Zinciri Boyunca Dijital İzlenebilirlik Altyapısı	0,623	0,056
		Hammadde ve Üretim Lot Numarası Takibi Yapılabilirliği	0,239	0,021
		Ürün Sevkiyat Geçmişine Erişim İmkânı	0,137	0,012

Eğitim Amaçlı Şalt Sahası Modeli ve Prototip Uygulaması

Vedat Bingöl¹, İhsan Tuğberk İgci², Asım Gökhan Yetgin^{3,*}

^{1,2,3}Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Burdur, Türkiye

*(agyetgin@mehmetakif.edu.tr)

Özet – Bu çalışmanın amacı elektrik elektronik mühendisliği öğrencileri için elektrik üretim, iletim ve dağıtım sistemlerinin daha iyi anlaşılabilmesi amacı ile enerji sisteminin bir prototipi gerçekleştirilmiştir. Elektriğin üretilmesi ile başlayan süreçte gerilim seviyesi ilk aşamada 11 kilovolttan 154 kV seviyesine çıkarılmış daha sonraki aşamada 380 kV seviyesine çıkarılarak iletim hattı boyunca bu seviye korunmuştur. Son alıcıya ise 380/220 Volt olacak şekilde gerilim seviyesi transformatör yardımı ile düşürülmüştür. Her bir kademe boyunca gerilim seviyelerinin görülebilmesi için LCD ekran kullanılmış ve gerilim değerleri gösterilmiştir. Ayrıca prototipte kullanılan malzemelerin özellikleri için bir karekod oluşturulmuştur. Şalt sahasının önemli bir parçası olan ayırıcıların modellenmesi için ise bir servo motor kullanılmış ve ayırıcının açıp kapatması motor yardımı ile gerçekleştirilmiştir. Ayırıcının açması esnasında oluşan arkı meydana getirmek için ise 2.5 A lik ark jeneratörü ateşleme bobini kullanılmıştır. Ayırıcının açılması ile birlikte ayırıcıdan sonraki kısımdaki enerji kesilmiş ve gerilim seviyeleri sıfıra düşürülmüştür. Sistemin koruması için 16A lik sigorta ve paket şalter ile acil butonu ilave edilmiştir. İletim hatlarında yer alan ikaz küreleri ise bir röle üzerinden tetiklenerek modellenmiştir. Çalışmada kullanılan bütün malzemeler 3 boyutlu yazıcıdan çıktı alınarak yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler – Şalt Sahası, Transformatör, Ayırıcı, İletim Hattı, Dağıtım Hattı, Prototip.

I. GİRİŞ

Elektrik enerjisi, kullanım alanlarıyla hem bireysel hem de kurumsal hayatın en önemli ihtiyaçları arasındadır. Elektrik enerjisi tüketiciler de dahil olmak üzere güç sistemini oluşturan üretim, iletim ve dağıtım birimleriyle beraber tasarlanması gereken bir süreçtir [1].

Havai elektrik iletim hatlarının tasarımı hem mühendislik hem de diğerleri olmak üzere birçok disiplinin katkılarını içeren bir faaliyettir. Elektrik gücünün hareketi, destekleyici yapılar, akımı taşıyan iletkenler, yüklü iletkenlerin destekleyici yapılardan güvenli bir şekilde uzaklığını sağlayan yalıtkanlar ve güvenlik ve güvenilirlik standartlarını karşılayan uygun bağlantı donanımları gerektirir [2].

İletim hatları, elektrik enerjisinin iletiminde büyük önem taşır ve hattın gerilim seçimi, tasarım ve uygulama sürecinde önemli bir görevdir. Elektrik enerjisinin bir taraftan diğer tarafa, ardından uzun mesafelere aktarılması sürecidir [3].

Enerji iletim hatları, uzun mesafeler boyunca büyük miktarda enerji ileten enerji sistemlerinin kritik öneme sahip bileşenleridir. Modern enerji sistemleri genellikle hem AC hem de DC iletim hatlarını içerir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının gelecekteki enerji şebekelerine daha fazla nüfuz etmesiyle birlikte, yenilenebilir kaynaklardan müşterilere güvenli ve emniyetli enerji iletimi sağlamak için iletim hatlarının güvenilir bir şekilde işletilmesi hayati önem taşımaktadır [4].

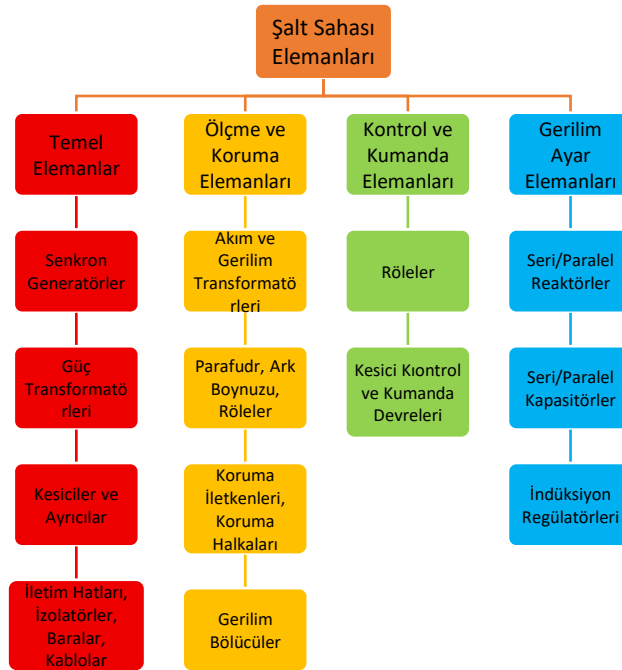
Bu çalışmada elektrik enerjisinin üretiminden son kullanıcıya kadar olan bir şalt sahası ve üretim/iletim/dağıtım hattı prototipi gerçekleştirilmiştir. Sistem tasarımı için kullanılan malzemeler 3 boyutlu yazıcı kullanılarak yapılmıştır.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Genel olarak kesiciler, ayırıcılar, baralar, güç ve ölçü transformatörleri, parafudrlar, hat tıkaçı (line trap) ve yardımcı teçhizatların bir arada bulunduğu, elektrik enerjisinin, koruma, kumanda ve ölçme işlemlerinin yapılarak toplandığı ve dağıtıldığı açık havada bulunan tesislere Şalt Sahası (açık şalt) denir. Aynı teçhizatlar kapalı ortamda bulunuyorsa buralara Şalt Salonu (kapalı şalt) denir [5].

İletim şalt tesisleri; gerilim seviyelerini değiştiren güç transformatörleri, güç akışı ile akım seviyelerini kontrol etmeye yarayan kesici-ayırıcı gibi açma-kapama elemanları, farklı gerilim seviyelerindeki fiderlerin birleştirildiği baralar ve akım trafosu, gerilim trafosu gibi bir kısım yardımcı teçhizatın bir arada bulunduğu, enerjinin toplandığı ve dağıtıldığı noktalardır. Şalt tesislerinin temel görevleri, gerekli izolasyonu sağlayarak güç sistemi bölümlerinin bağlantısını yapmak, koruma ve kumanda sistemleri ile elektriksel gücü istenilen branslara kontrollü bir şekilde iletmektir. Şalt tesisleri yüksek akımı anahtarlayabilmeli (açma-kapama yapabilmeli), şebekede meydana gelen arızaları kontrol altında tutarak sınırlayabilmelidir. İletim şalt tesislerinin tasarımı gelecekteki gereksinimleri de ucuz ve kolay bir şekilde karşılayabilecek esneklikte olmalıdır [6].

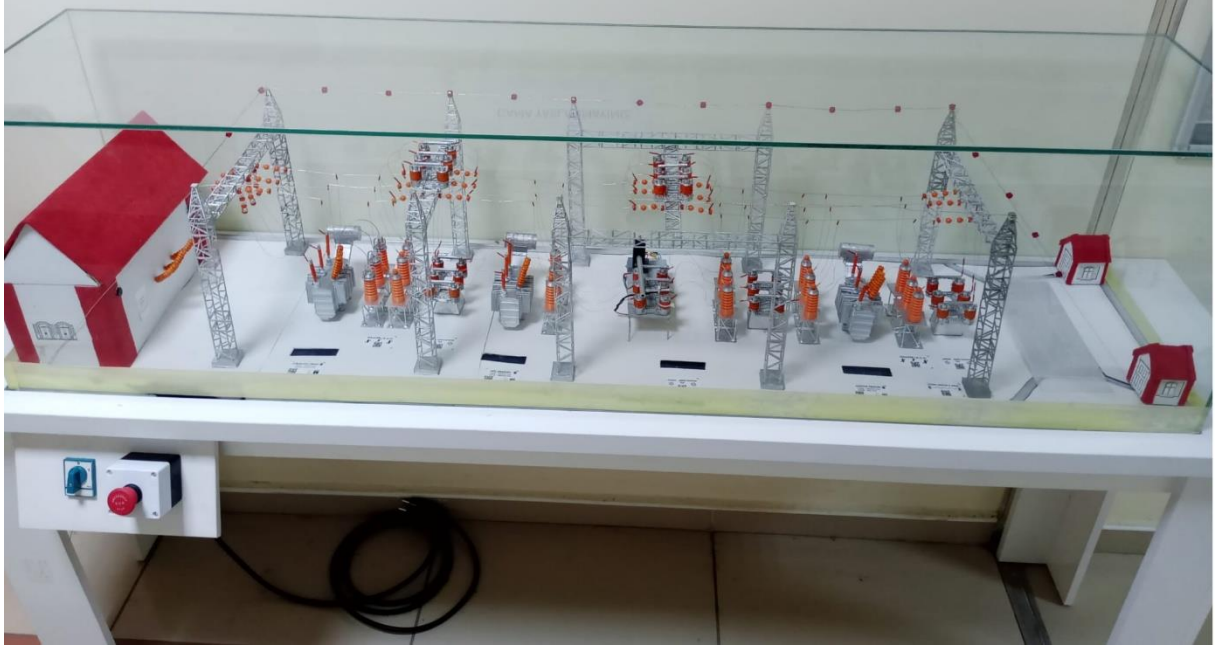
Bir şalt sahası bileşenleri 4 ana grupta toplanabilir. Bunlar temel elemanlar, ölçme ve koruma elemanları, kontrol ve kumanda elemanları, gerilim ayar elemanları ile gerilim ayar elemanlarından oluşmaktadır. Şalt sahası elemanları Şekil 1’ de verilmiştir [5].



Şekil 1. Şalt sahası elemanları

Projede kullanılan h direkleri, izolatörler, ayırıcı ve kesiciler, transformatörler vb. diğer bütün malzemeler 3 boyutlu yazıcı kullanılarak basılmıştır. Basımlar sırasında malzemeler üzerinde saçaklar meydana gelmiş bunlar temizlenmiş ve bütün malzemeler boyanmıştır. Prototipi yapılan şalt sahası uygulamasının görüntüsü Şekil 2’ de verilmiştir.

Projede koruma amaçlı olarak 10 Amperlik sigorta ve bir adet acil butonu ile bir adet paket şalter kullanılmaktadır.

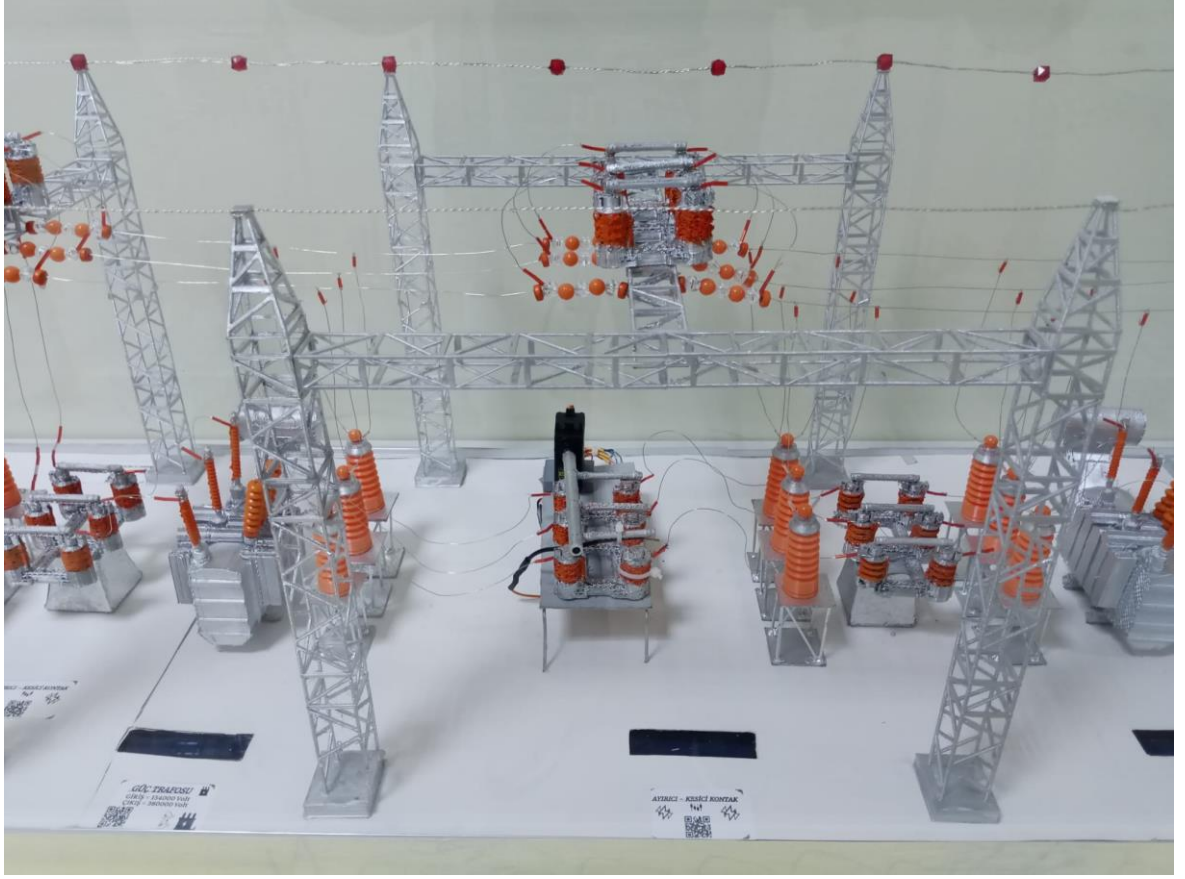


Şekil 2. Şalt Sahası Prototipi

Projede kullanılan malzemelerin özellikleri için bir karekod sistemi yapılmış ve hangi malzeme hakkında bilgi isteniyorsa bu karekodlar okutularak gerekli bilgilere ulaşılabilir. Ayrıca her bir kademe sonrasındaki gerilim seviyeleri LCD ekrana yansıtılmaktadır.

Projede ayırıcı modellemesi için servo motor ve oluşan arkları modelleyebilmek için ise ark jeneratörü ateşleme bobini kullanılmıştır. Servo motorlar ayırıcı devreden çıktığında ayırıcı kolunu çekmekte ve bu olay gerçekleşirken meydana gelen arkları modellemek için ise 2.5 A seviyesinde ark jeneratörü ateşleme bobini ile görsel olarak bir ark meydana getirilmektedir. Ayrıca ayırıcının devreden çıkması ile birlikte bu kısımdan sonraki hatlarda enerji sıfırlanmakta ve görsel olarak lambalar sönmektedir. Ayrıca gerilim seviyeleri de LCD ekranlarında sıfır olarak görülmektedir.

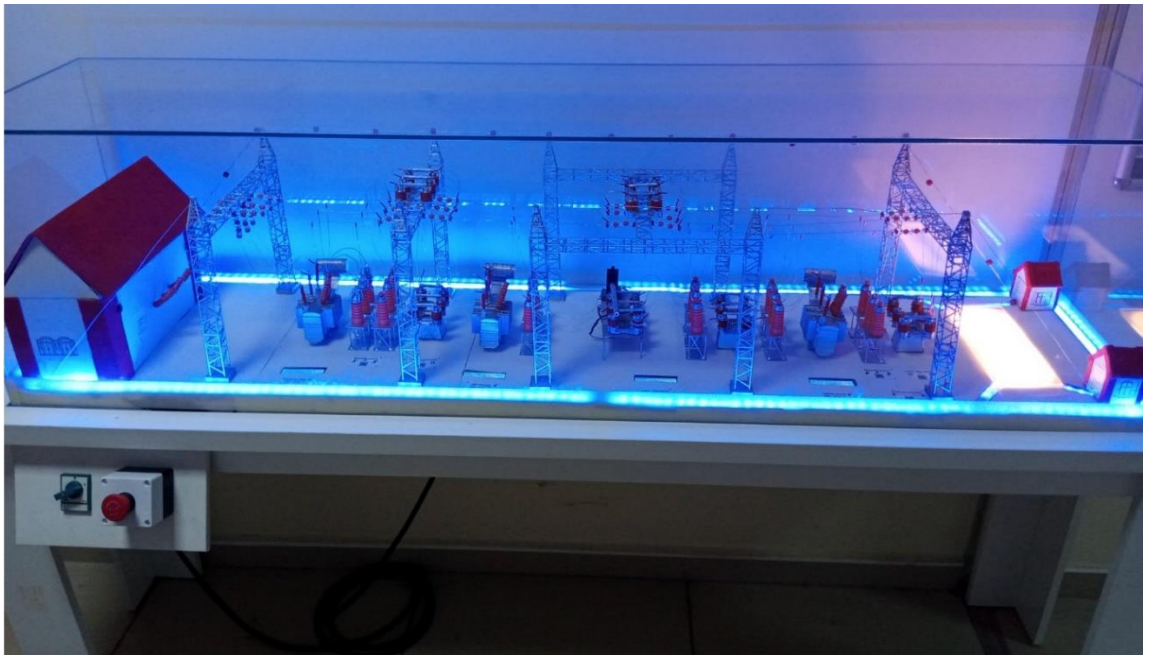
Ayırıcının tekrar devreye alınması ile birlikte sistem çalışmaya devam etmektedir. Projede koruma iletkenleri üzerinde devamlı olarak yanıp sönen led lambalar yerleştirilmiş ve ikaz kürelerinin modellemesi gerçekleştirilmiştir. Bu durumlar Şekil 3’ de verilmiştir.



Şekil 3. LCD Ekranlar, İkaz küreleri ve Ayırıcı

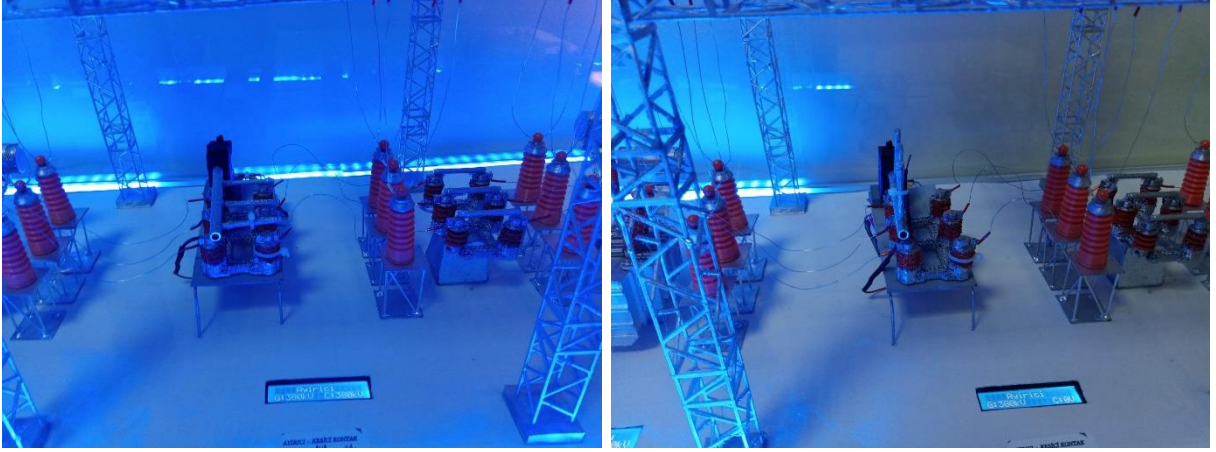
III. BULGULAR

Yapılan prototipin çalışır durumdaki görüntüsü Şekil 4’ de verilmiştir. Enerjinin bütün kademelerde yanması enerjinin üretim kısmından son alıcıya kadar aktif bir şekilde iletildiğini ve dağıtıldığını göstermektedir.



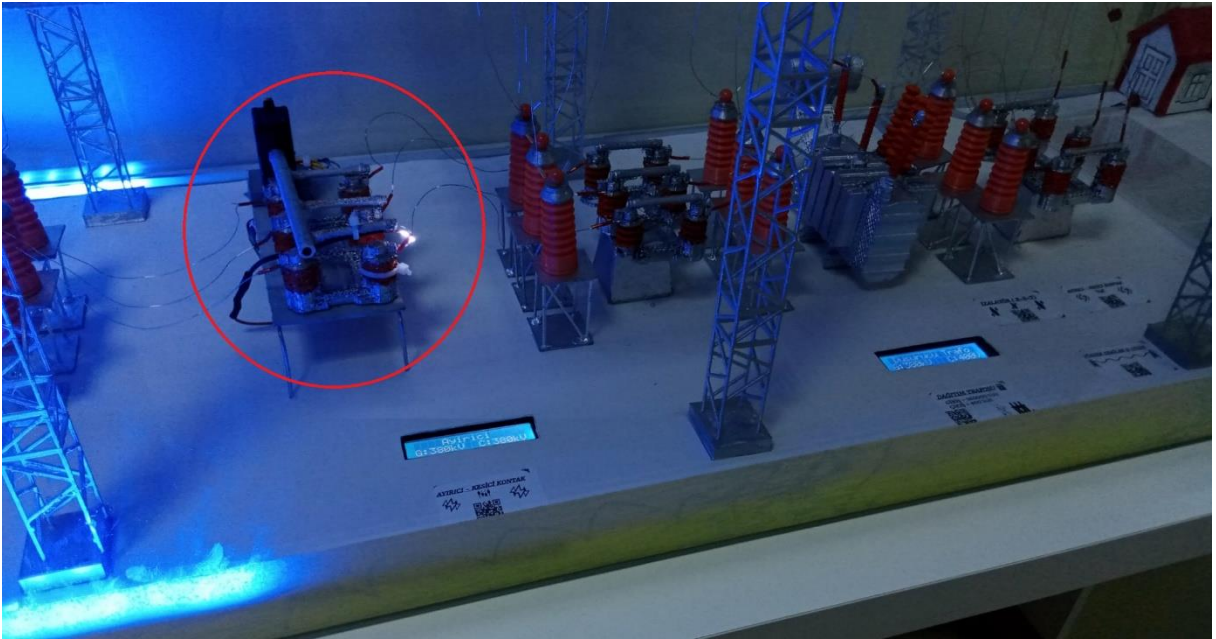
Şekil 4. Projenin çalışır durumdaki görüntüsü

Şekil 5’ de ayırıcının devreden çıkmadan ve devreden çıktıktan sonraki görüntüleri ve gerilim seviyeleri verilmiştir.



Şekil 5. Ayırıcının pozisyonları

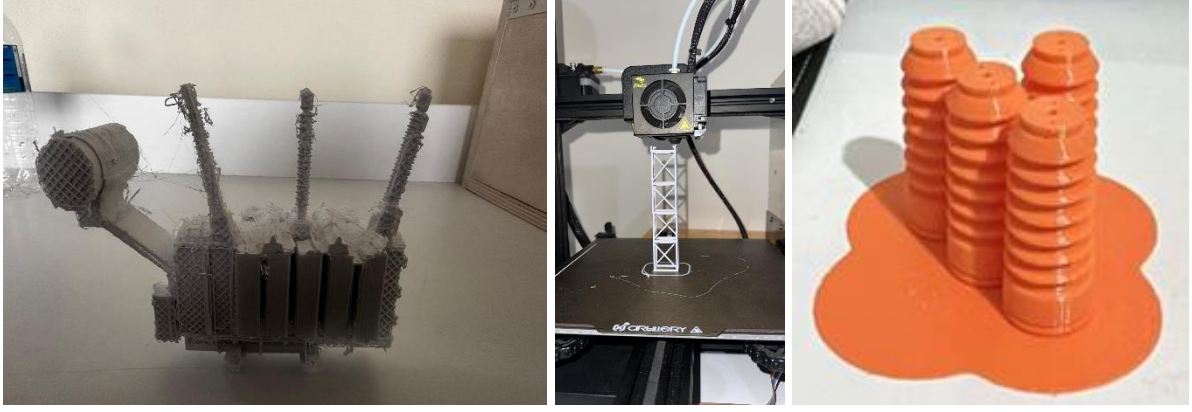
Şekil 6’ da ise ayırıcının devreden çıkarken meydana gelen arkın oluşumu verilmiştir. Ayırıcı devreden çıktıktan sonra enerji de kesilmektedir.



Şekil 6. Ayırıcının devreden çıktığı anda oluşan arklar

Elektriğin üretilmesinden sonraki aşamada gerilim seviyesi transformatör vasıtası ile 154/380 kV seviyesine çıkarılır. Daha sonraki aşamada iletim hattı boyunca gerilim seviyesi korunur ve son alıcıya ulamadan önce yine transformatör yardımı ile 380/220 Volt seviyesine indirilir.

3 Boyutlu yazıcı kullanılarak malzemelerin yapıma aşamalarına ait görseller Şekil 7’ de verilmiştir.



Şekil 7. Malzemelerin 3B yazıcı ile basılması

IV. SONUÇLAR

Bu çalışmada Elektrik Elektronik Mühendisliği öğrencilerinin elektrik üretim, iletim ve dağıtım aşamalarının nasıl gerçekleştiğini takip etme ve uygulamalı olarak görme imkanı sunan bir prototip gerçekleştirilmiştir. Her bir aşamadaki gerilim değerleri LCD ekran üzerine yazdırılmıştır. Böylece kullanıcı hangi aşamada hangi gerilim seviyesinin olduğunu anlayabilmektedir. Ayrıca şalt sahalarındaki ayırıcılarında modellemesi bir servo motor yardımı ile gerçekleştirilmiş ve ayırıcının açılması ile birlikte arkın oluşumunun takip edilmesi sağlanmaktadır. Ayırıcının açılması ile birlikte bu noktadan sonraki kısımlardaki enerji kesilmekte ve led lambalar sönmektedir. Gerilim seviyesi 11 kV'dan 154/380 kV seviyesine çıkarılmakta daha sonraki aşamada ise kademeli olarak 380/220 V'a kadar düşürülmekte ve son alıcıya ulaştırılmaktadır.

Çalışma öğrencilerin elektrik üretim, iletim ve dağıtım derslerinde gösterilen sistemlerin bir prototipini gerçekleştirerek bu konuların daha iyi anlaşılmasına katkıda bulunmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Tür, M. R. (2010). Enerji iletim hatlarında oluşan arızaların bulanık mantık yöntemi ile belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, ss 90.
- [2] Kalaga, S., & Yenumula, P. (2017). Design of electrical transmission lines: structures and foundations. Volume 1, CRC Press/Balkema, pp 462.
- [3] Fahad, J. Q., & Chillab, R. K. (2020). Design aspects of high voltage transmission line. Bulletin of Electrical Engineering and Informatics, 9(3), 853-861.
- [4] Liu, Y., Lu, D., Vasilev, S., Wang, B., Lu, D., & Terzija, V. (2023). Model-based transmission line fault location methods: A review. Electrical Power and Energy Systems, 153, 1-21.
- [5] ..., EEM13414 Yüksek Gerilim Tekniği, Yüksek Gerilim Elemanları, Kırklareli Üniversitesi, ss 83.
- [6] Tekşut, H. B. (2009). Ulusal elektrik iletim sistemindeki şalt tesislerinin incelenmesi ve yeni çözüm önerileri. Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, ss 124.

Termal Görüntüler Üzerinden Fotovoltaik Panel Arızalarının YOLOv12 ile Tespiti ve Performans Analizi

Mustafa Danacı^{1*}, Ahmet Çifci² ve İsmail Kırbaş³

¹Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Türkiye

²Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Türkiye

³Bilgisayar Mühendisliği, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Türkiye

*(mustafadanac5@gmail.com)

Özet – Güneş enerjisi sistemlerinin verimliliği ve güvenliği, panel yüzeylerinde zamanla oluşan anomalilerin erken tespitiyle doğrudan ilişkilidir. Bu çalışmada, termal görüntüler kullanılarak güneş panellerindeki anomalilerin otomatik olarak tespit edilmesi amacıyla Şubat 2025'te geliştirilen YOLOv12 nesne tespiti algoritması değerlendirilmiştir. Kaggle platformunda yayımlanan bir veri seti temel alınarak yürütülen çalışmada, sekiz farklı arıza türü ve sağlıklı panellere ait toplam 2723 görüntü kullanılmış; veri artırma teknikleriyle bu sayı yaklaşık 7500'e çıkarılmıştır. YOLOv12 algoritmasının farklı varyantları (n, s, m, l, x), beş temel değerlendirme metriği (kesinlik, duyarlılık, F1 skoru, mAP50, mAP50-95) açısından karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Elde edilen bulgulara göre YOLOv12 l modeli, %71,96 mAP50 ve %54,78 mAP50-95 değerleriyle en yüksek performansı göstermiştir. Bu sonuçlar, YOLOv12 mimarisinin fotovoltaik sistemlerdeki anomali tespitinde etkili ve güvenilir bir çözüm sunduğunu ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler – Anomali Tespiti, Güneş Paneli, Termal Görüntüleme, YOLOv12.

I. GİRİŞ

Küresel ısınma ve iklim değişikliği, günümüzde insanlığın karşı karşıya olduğu en kritik çevresel sorunların başında gelmektedir. 2023 yılı itibarıyla küresel sıcaklık artışı, sanayi öncesi döneme kıyasla yaklaşık 1,2 °C'ye ulaşmış durumdadır. Bu artış, aşırı hava olaylarının sıklığını ve şiddetini önemli ölçüde artırmakta; çevresel felaket riskini de beraberinde getirmektedir [1, 2]. Söz konusu sıcaklık artışı, büyük ölçüde atmosferdeki karbondioksit (CO₂) emisyonlarının hızlı artışıyla ilişkilendirilmektedir. Uluslararası Enerji Ajansı'nın (International Energy Agency-IEA) 2023 yılı raporuna göre, küresel CO₂ salınımindaki yükseliş devam etmektedir [3]. Bununla birlikte, yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygınlaşması, bu artış hızını kayda değer ölçüde yavaşlatma potansiyeli taşımaktadır.

Yenilenebilir enerji, küresel elektrik üretiminin dönüşümünde merkezi bir rol üstlenmektedir. 2030 yılına kadar elektrik üretiminde yenilenebilir kaynakların payının %45'e ulaşması öngörülmekte olup, bu büyümede güneş enerjisi belirleyici bir etken olarak öne çıkmaktadır [4-6]. Güneş enerjisi sistemlerinin karbon emisyonlarının azaltılmasına katkısı, hem üretim sürecinde oluşan sera gazı miktarının görece düşük olması hem de işletme süresi boyunca neredeyse sıfıra yakın karbon salımı gerçekleştirmesinden kaynaklanmaktadır [7]. Türkiye de bu alandaki küresel eğilimlere paralel olarak önemli yatırımlar gerçekleştirmiş ve 2017-2027 dönemi için 10 GW ek güneş enerjisi kapasitesi kurmayı hedeflemiştir [8].

Güneş enerji santrallerinin sürdürülebilir ve yüksek verimle çalışabilmesi, sahadaki panellerin bakım ve izleme süreçlerinin etkin biçimde yönetilmesini gerekli kılmaktadır [9, 10]. Her ne kadar üretici firmalar, uzun ömürlü tasarımlar sayesinde panellere 20-25 yıla kadar yüksek performans garantisi verseler de zaman içerisinde çeşitli arızalar ve performans düşüşleri kaçınılmazdır [11]. Bu arızalar arasında hücre çatlakları, delaminasyon, bağlantı kutusu sorunları, diyot arızaları, dizi problemleri ve sıcak nokta (hotspot) olarak bilinen sıcaklık anomalileri öne çıkmaktadır [12-14]. Söz konusu arızalar, panel yüzeyinde lokal aşırı

ısınmalara neden olarak hem enerji üretiminde ciddi kayıplara hem de yangın riski gibi güvenlik sorunlarına yol açabilmektedir [15, 16].

Bu tür arızaların erken aşamada tespiti ve önlenmesi, güneş enerjisi sistemlerinin performansını artırmak açısından kritik bir öneme sahiptir [17]. Geleneksel arıza tespit yöntemleri arasında kızılötesi görüntüleme, elektrolüminans ve ultrasonik inceleme gibi çeşitli teknikler yer almaktadır [18]. Ancak son yıllarda görüntü işleme teknolojilerindeki gelişmelere paralel olarak, nesne tespitinde yaygın şekilde kullanılan YOLO (You Only Look Once) algoritmaları, fotovoltaiik sistemlerdeki arızaların tanı ve teşhisinde dikkat çekici avantajlar sunmaktadır. YOLO algoritmaları; düşük gecikme süresi, yüksek doğruluk oranı ve gerçek zamanlı izleme imkânı sayesinde arıza tespit uygulamalarında tercih edilen yöntemler arasına girmiştir [19]. Bu çalışma kapsamında, Şubat 2025'te piyasaya sürülen YOLOv12 algoritmasının, fotovoltaiik sistemlerdeki anomalileri tespit etme konusundaki performansı ve etkinliği değerlendirilecektir.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde, kullanılan veri setinin özellikleri, uygulanan veri ön işleme ve artırma teknikleri, YOLOv12 algoritmasının mimari yapısı ve eğitim süreci ile modellerin performansını ölçmek için kullanılan değerlendirme metrikleri açıklanmaktadır.

A. Veri Seti ve Ön İşleme

Bu çalışmada kullanılan veri kümesi, Kaggle platformunda yayımlanan “Thermal Solar PV Anomaly Detection Dataset” başlıklı veri setinden elde edilmiştir [20]. Veri seti, toplam 2723 adet görüntü içermektedir. Modelin genelleme performansını artırmak, veri setinin çeşitliliğini zenginleştirmek ve aşırı öğrenmeyi engellemek amacıyla kapsamlı bir veri artırma stratejisi uygulanmıştır. Bu doğrultuda, modelin farklı oryantasyonlara ve çevresel koşullara karşı dayanıklılığını artırmak için her bir görüntüye rastgele olarak; yatay çevirme, döndürme ve kaydırma gibi geometrik dönüşümler ile parlaklık, renk tonu ve pozlama gibi fotometrik ayarlamalar tatbik edilmiştir. Bu işlemler sonucunda, orijinal veri seti zenginleştirilerek eğitim için kullanılacak örnek sayısı yaklaşık 7500'e çıkarılmıştır [20]. Veri seti, hem sağlıklı (anomaliden arındırılmış) örnekleri hem de sekiz farklı arıza türünü içermektedir: Tekli sıcak nokta (Single Hotspot), çoklu sıcak noktalar (Multi Hotspots), tekli diyot arızası (Single Diode), çoklu diyot arızası (Multi Diode), tekli baypas edilmiş alt dizi (Single Bypassed Substring), çoklu baypas edilmiş alt dizi (Multi Bypassed Substring), açık devre (String-Open Circuit) ve ters polarite (String-Reversed Polarity).

Veri setinin %80'i eğitim, %10'u doğrulama ve kalan %10'u test için ayrılmıştır. Eğitim sürecini hızlandırmak ve modelin daha etkin bir şekilde yakınsamasını sağlamak amacıyla, COCO (Common Objects in Context) veri seti üzerinde önceden eğitilmiş ağırlıklar kullanılarak transfer öğrenme yaklaşımı benimsenmiştir. Tüm eğitim ve test süreçleri, 40 GB belleğe sahip bir NVIDIA A100 GPU üzerinde yürütülmüştür. Model versiyonlarının performansını adil bir zeminde karşılaştırmak amacıyla, Tablo 1'de özetlenen standart hiperparametreler tüm eğitimlerde ortak olarak kullanılmıştır.

Tablo 1. Model eğitimi için kullanılan hiperparametreler

Parametre	Değer
Epoch Sayısı	100
Optimizasyon Algoritması	AdamW
Başlangıç Öğrenme Oranı	0.001
Momentum	0.9
IoU Eşiği (Threshold)	0.7

B. YOLOv12 Algoritması

YOLOv12 algoritması, Şubat 2025'te yayımlanan ve nesne tespiti alanında en güncel yaklaşımları içeren yeni nesil bir model olarak öne çıkmaktadır. Önceki YOLO sürümlerinin çoğu evrişimli sinir ağı (CNN) tabanlı mimarilere dayanırken, YOLOv12 bu geleneksel yaklaşımdan ayrılarak dikkat (attention) temelli bir yapı önermektedir. Bu yeni yapı, CNN tabanlı yöntemlere alternatif bir çözüm sunmayı ve bu modellere

olan bağımlılığı azaltmayı amaçlamaktadır. YOLO mimarisine özgü temel tasarımı büyük ölçüde koruyan bu sürüm, dikkat odaklı mekanizmalar, omurga ağında yapılan mimari değişiklikler ve çeşitli optimizasyon iyileştirmeleri ile hem yüksek doğrulukta hem de düşük gecikme süreli tespitler gerçekleştirebilmektedir.

Modelin dikkat mekanizması, geleneksel eksenel dikkat veya kaydırılmış pencere tabanlı çözümler yerine, alan dikkat modülü (Area Attention - A2) adı verilen özgün bir yapıyı temel alır. Bu modül, giriş özellik haritasını yatay ve dikey düzlemlerde eşit parçalara bölerek hesaplama maliyetini önemli ölçüde düşürmeyi hedeflemektedir. A2 modülünün basitliği sayesinde işlem süresi kısılırken, bu sadelik zaman zaman doğruluk üzerinde sınırlayıcı etkiler yaratabilmekte ve ek hesaplama yükü ortaya çıkarabilmektedir.

Dikkat tabanlı yapının beraberinde getirdiği hesaplama zorluklarını dengelemek amacıyla, YOLOv12'de Artık Verimli Katman Toplama Ağı (R-ELAN) adı verilen yeni bir özellik toplama mimarisi kullanılmaktadır. Bu yapı, önceki YOLO sürümlerinde kullanılan ELAN mimarisine kıyasla daha kararlı bir eğitim süreci sunar. R-ELAN, blok düzeyinde artık bağlantılar ve ölçekleme stratejileri aracılığıyla özellikle YOLOv12'nin "l" ve "x" versiyonlarında istikrarlı model eğitimi sağlamaktadır.

Bununla birlikte, dikkat temelli hesaplamaların GPU ile bellek (SRAM) arasındaki veri erişimi açısından oluşturduğu darboğazlar, modelin verimliliğini olumsuz etkileyebilmektedir. Bu soruna çözüm olarak geliştirilen FlashAttention mekanizması, dikkat hesaplamalarında bellek erişimini en aza indirerek genel işlem verimini artırmaktadır. FlashAttention sayesinde dikkat temelli modeller, CNN tabanlı yöntemlerle karşılaştırıldığında rekabetçi bir hız ve performans düzeyine ulaşabilmektedir [21].

YOLOv12 algoritmasını diğer modellerden ayıran bir diğer önemli unsur ise donanım bağımlılığıdır. Dikkat merkezli yapının ve FlashAttention teknolojisinin etkin bir biçimde çalışabilmesi için, belirli NVIDIA GPU mimarilerinin kullanımı gereklidir. Ampere, Ada Lovelace, Hopper ve Turing gibi mimarilere sahip GPU'lar (örneğin NVIDIA T4, A100, RTX serileri), YOLOv12'nin yüksek performansla çalışması için önerilen donanımlar arasında yer almaktadır.

C. Değerlendirme Metrikleri

Bu çalışmada geliştirilen modelin başarımını değerlendirmek amacıyla, nesne tespiti ve sınıflandırma problemlerinde yaygın olarak kullanılan beş farklı performans metriği kullanılmıştır: Kesinlik (Precision), Duyarlılık (Recall), F1 Skoru, mAP50 ve mAP50-95. Bu metrikler, modelin tahmin doğruluğunu hem pozitif sınıflar özelinde hem de genel performans açısından nicel olarak ifade etmektedir.

Kesinlik (Precision): Modelin pozitif olarak tahmin ettiği örnekler içerisinde gerçekte doğru olanların oranını ifade eder. Yüksek kesinlik, modelin yanlış pozitif üretme olasılığının düşük olduğunu gösterir. Matematiksel olarak şu şekilde ifade edilir:

$$\text{Kesinlik} = \frac{TP}{TP + FP} \quad (1)$$

Burada TP doğru pozitif, FP ise yanlış pozitif örnek sayısını ifade eder.

Duyarlılık (Recall): Modelin gerçekte pozitif olan örnekleri doğru şekilde tahmin etme oranını ifade eder. Bu metrik, özellikle hata tespiti gibi kaçırılan pozitif örneklerin önemli olduğu durumlarda kritiktir. Şu şekilde tanımlanır:

$$\text{Duyarlılık} = \frac{TP}{TP + FN} \quad (2)$$

Burada FN, yanlış negatif örnek sayısını temsil eder.

F1 Skoru: Kesinlik ve duyarlılığın harmonik ortalamasıdır. Bu metrik, özellikle veri dengesizliğinin söz konusu olduğu durumlarda daha dengeli bir değerlendirme sunar:

$$F1 = 2 \times \frac{\text{Kesinlik} \times \text{Duyarlılık}}{\text{Kesinlik} + \text{Duyarlılık}} \quad (3)$$

Ortalama Hassasiyet (mean Average Precision, mAP): Nesne tespiti görevlerinde en önemli değerlendirme metriği olan mAP, modelin hem sınıflandırma hem de lokalizasyon performansını bir arada

ölçer. Hesaplanması, Kesişim Üzeri Birleşim (Intersection over Union, IoU) kavramına dayanır. IoU, modelin tahmin ettiği sınırlayıcı kutu ile gerçek (ground-truth) sınırlayıcı kutu arasındaki örtüşme oranını belirtir. Bir tespitin TP olarak kabul edilmesi, IoU değerinin belirli bir eşiği geçmesine bağlıdır. Bu çalışmada iki farklı mAP metriği kullanılmıştır:

- **mAP50:** Bu metrik, IoU eşiğinin 0,50 olarak sabitlendiği durumda hesaplanan ortalama hassasiyet (AP) değerini ifade eder. Modelin bir kusuru genel olarak doğru yerde bulup bulmadığını daha esnek bir şekilde değerlendirir.
- **mAP50-95:** Bu metrik, COCO veri seti ile standartlaşmış daha katı ve kapsamlı bir değerlendirme ölçütüdür. IoU eşiğinin 0,50’den 0,95’e kadar 0.05’lik adımlarla artırıldığı 10 farklı eşik değeri için hesaplanan mAP skorlarının ortalamasını alır. Bu metrik, sadece nesneleri tespit etmede değil, aynı zamanda onların konumlarını yüksek hassasiyetle belirlemede de başarılı olan modelleri ödüllendirir ve bu nedenle modelin lokalizasyon kabiliyetinin daha güvenilir bir göstergesidir.

III. BULGULAR

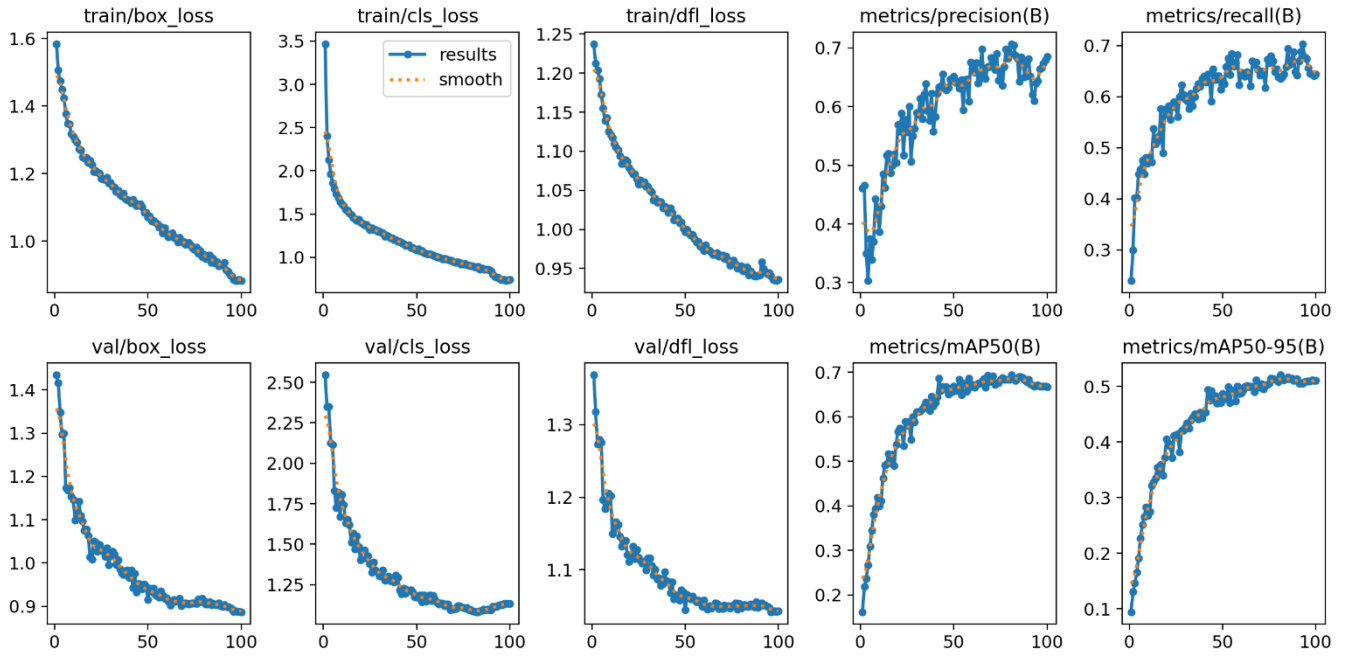
Bu bölümde, YOLOv12 algoritmasının beş farklı varyantı (n, s, m, l, x) termal güneş paneli görüntülerindeki anomali tespitinde karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Model performansı kesinlik, duyarlılık, F1 skoru, mAP50 ve mAP50-95 metrikleri kullanılarak ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 2. YOLOv12 varyantlarının performans ölçümleri

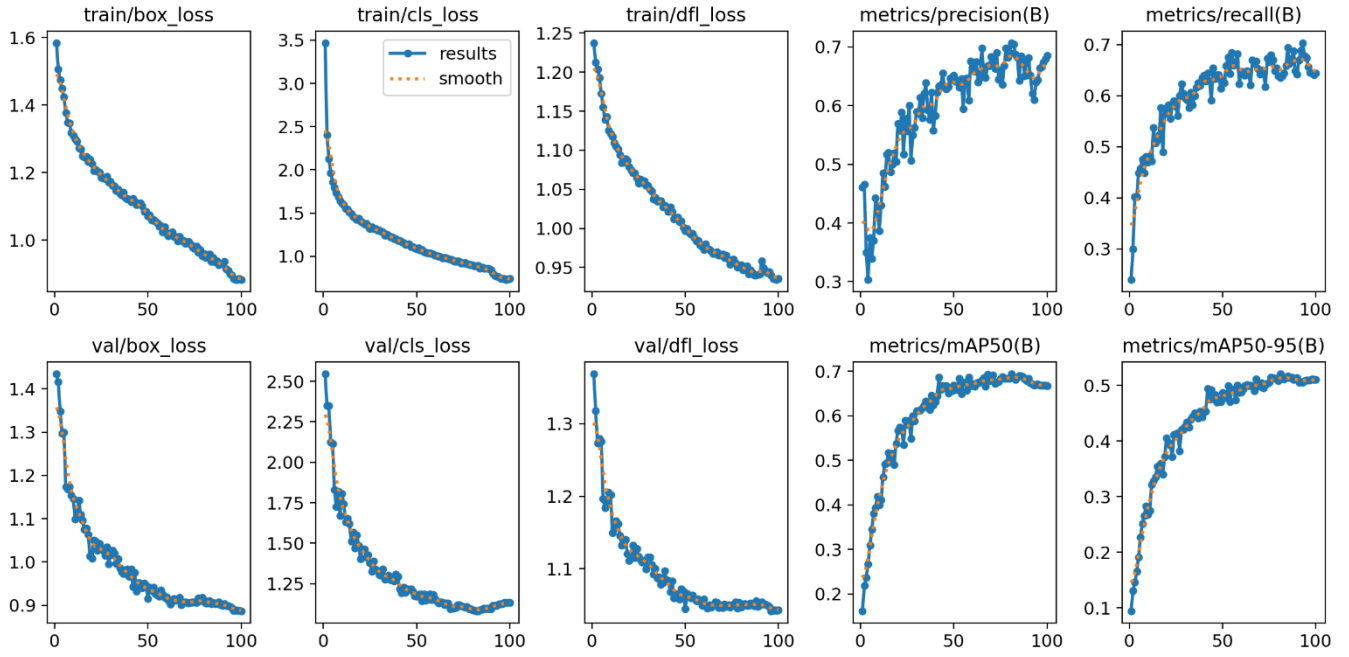
Versiyon	Kesinlik	Duyarlılık	F1 Skoru	mAP50	mAP50-95
YOLOv12 n	0,6853	0,6439	0,6639	0,6675	0,5107
YOLOv12 s	0,6701	0,6471	0,6584	0,6784	0,5061
YOLOv12 m	0,6593	0,6999	0,6790	0,6852	0,5068
YOLOv12 l	0,6882	0,7036	0,6958	0,7196	0,5478
YOLOv12 x	0,6953	0,6802	0,6876	0,6929	0,5197

En yüksek kesinlik değeri %69,53 ile YOLOv12 x varyantında elde edilmiştir. Duyarlılık bakımından ise %70,36 ile YOLOv12 l modeli öne çıkmıştır. F1 skoru açısından en dengeli ve başarılı performansı yine %69,58 ile YOLOv12 l modeli göstermiştir. Bu durum, söz konusu varyantın doğru pozitif oranı ile kaçırılmayan örnek sayısını birlikte optimize edebildiğini göstermektedir. mAP50 sonuçlarına bakıldığında, en yüksek değer %71,96 ile YOLOv12 l modeline aittir. Bu metrik, modelin tespit ettiği nesnelerin genel olarak doğru konumlandırıldığını göstermektedir. mAP50-95 değeri açısından ise en iyi sonuç %54,78 ile yine YOLOv12 l modeli tarafından elde edilmiştir. Bu durum, l varyantının farklı eşik seviyelerinde de tutarlı ve hassas sonuçlar üretebildiğini ortaya koymaktadır.

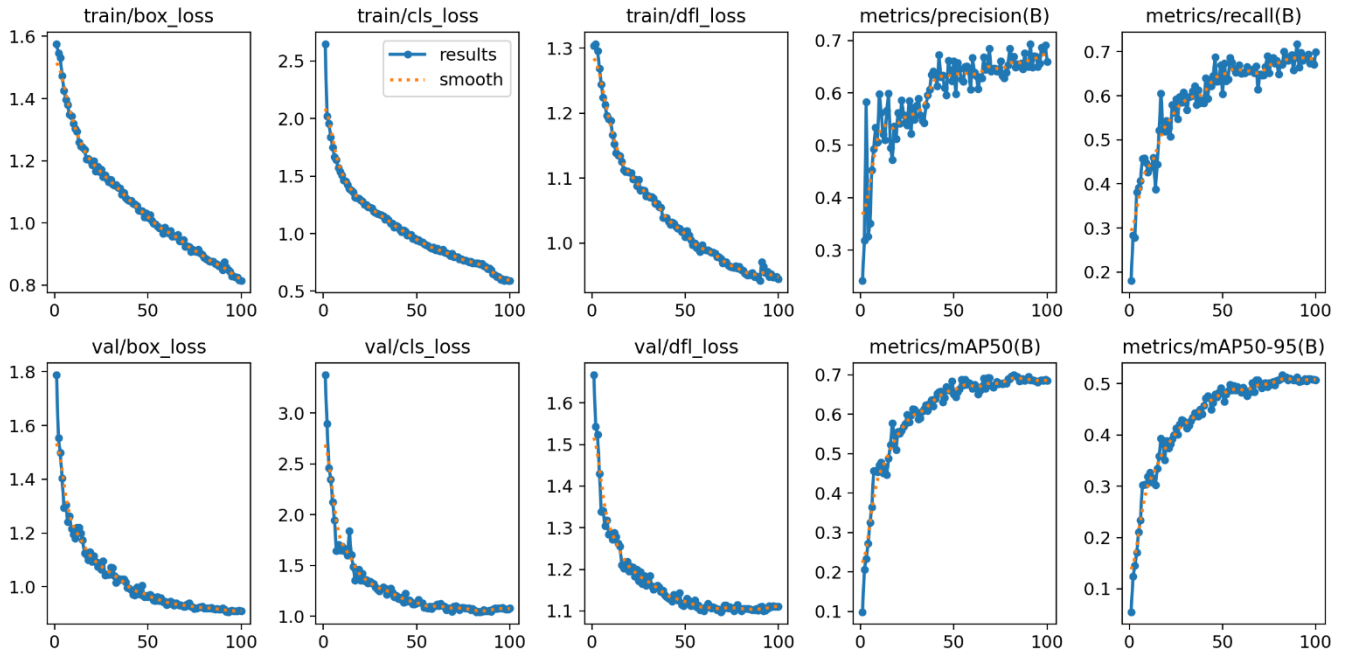
Şekil 1-5, tüm model varyantlarının 100 epoch boyunca süren eğitim ve doğrulama süreçlerine ait kayıp ve metrik grafiklerini göstermektedir.



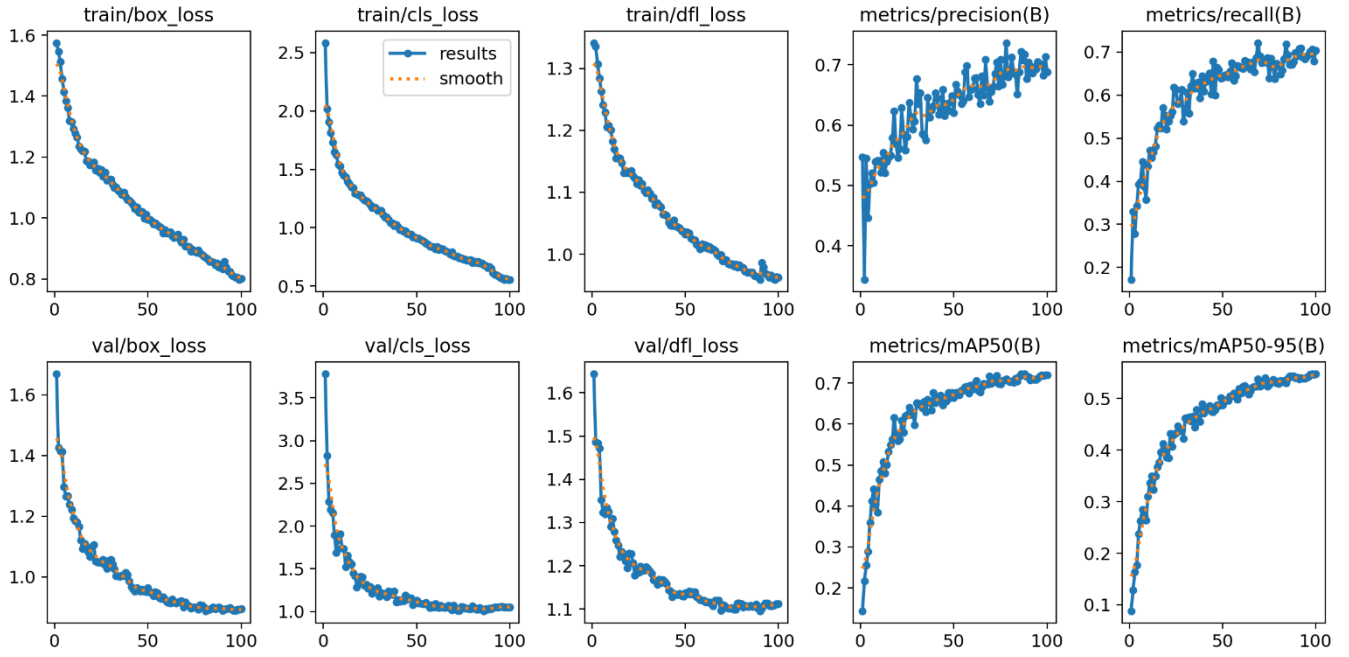
Şekil 1. YOLOv12 n modelinin sonuçları



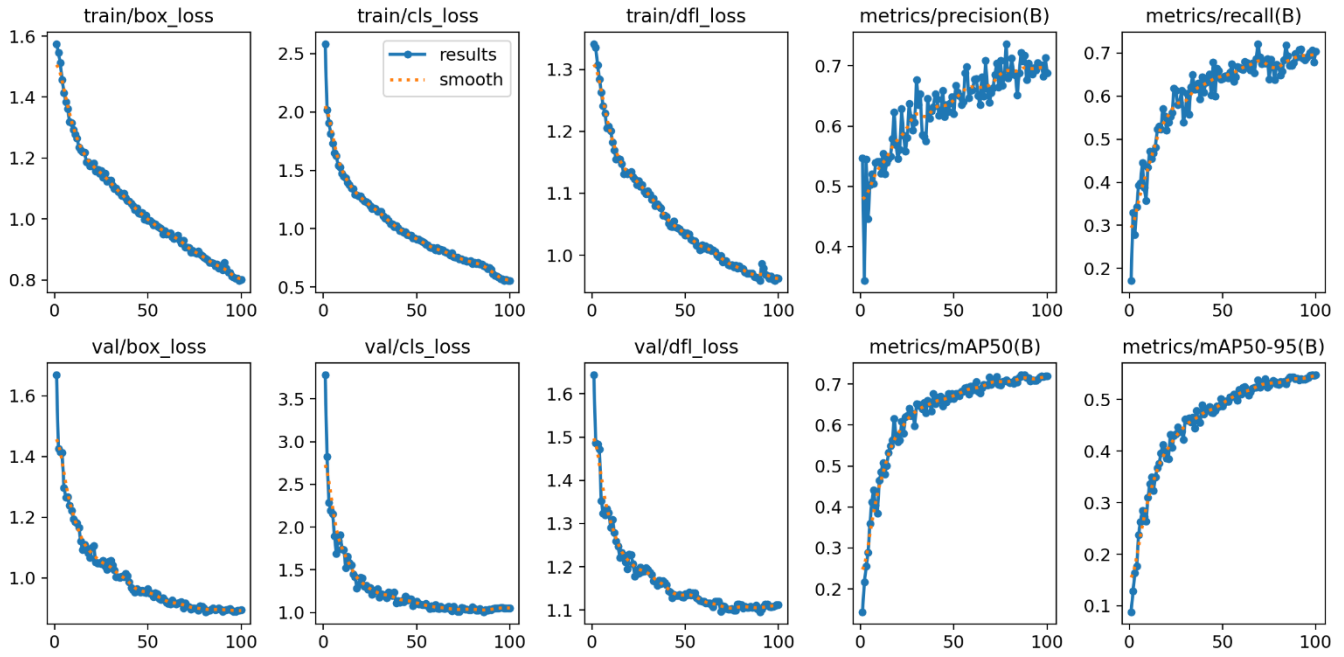
Şekil 2. YOLOv12 s modelinin sonuçları



Şekil 3. YOLOv12 m modelinin sonuçları



Şekil 4. YOLOv12 l modelinin sonuçları



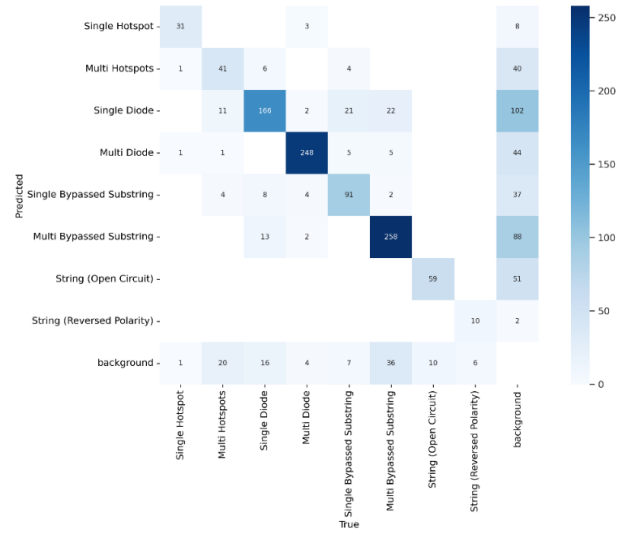
Şekil 5. YOLOv12 x modelinin sonuçları

Grafikler incelendiğinde, tüm modellerin eğitim kayıp (ör. train/box_loss, train/cls_loss) değerlerinin epoch sayısı arttıkça istikrarlı bir şekilde azaldığı görülmektedir. Benzer şekilde, doğrulama metrikleri olan mAP50 ve mAP50-95 skorları da eğitim ilerledikçe artarak belirli bir noktada doyuma ulaşmaktadır. Bu durum, modellerin aşırı öğrenme problemi yaşamadan veri setindeki örüntüleri başarıyla öğrendiğini ve kararlı bir şekilde yakınsadığını göstermektedir.

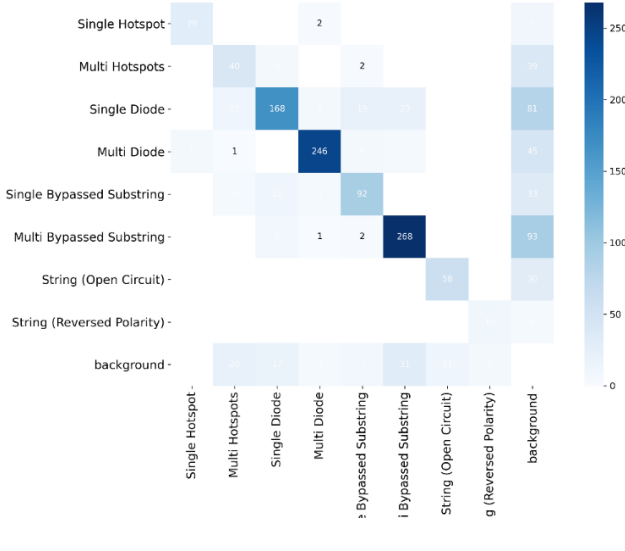
Modellerin sınıflandırma performansını daha detaylı analiz etmek amacıyla, her bir varyant için oluşturulan karışıklık matrisleri Şekil 6'da sunulmuştur. Bu matrisler, modelin gerçek etiketler ile tahmin ettiği etiketler arasındaki ilişkiyi görselleştirmektedir. Matrisin köşegeni üzerindeki yüksek değerler, doğru sınıflandırma başarısını göstermektedir.



(a)



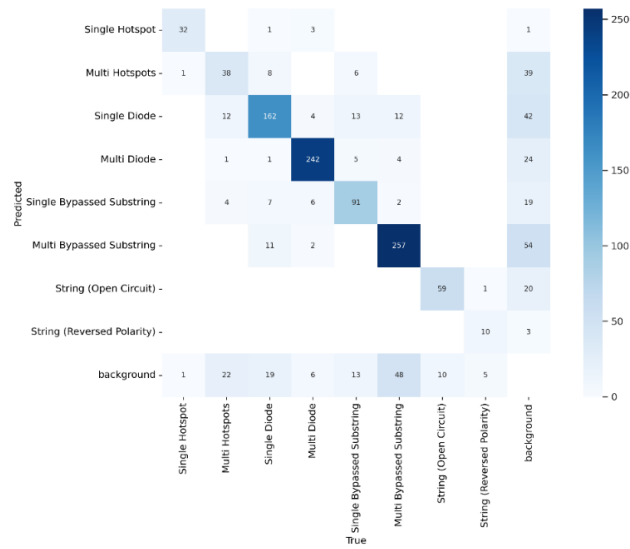
(b)



(c)



(d)

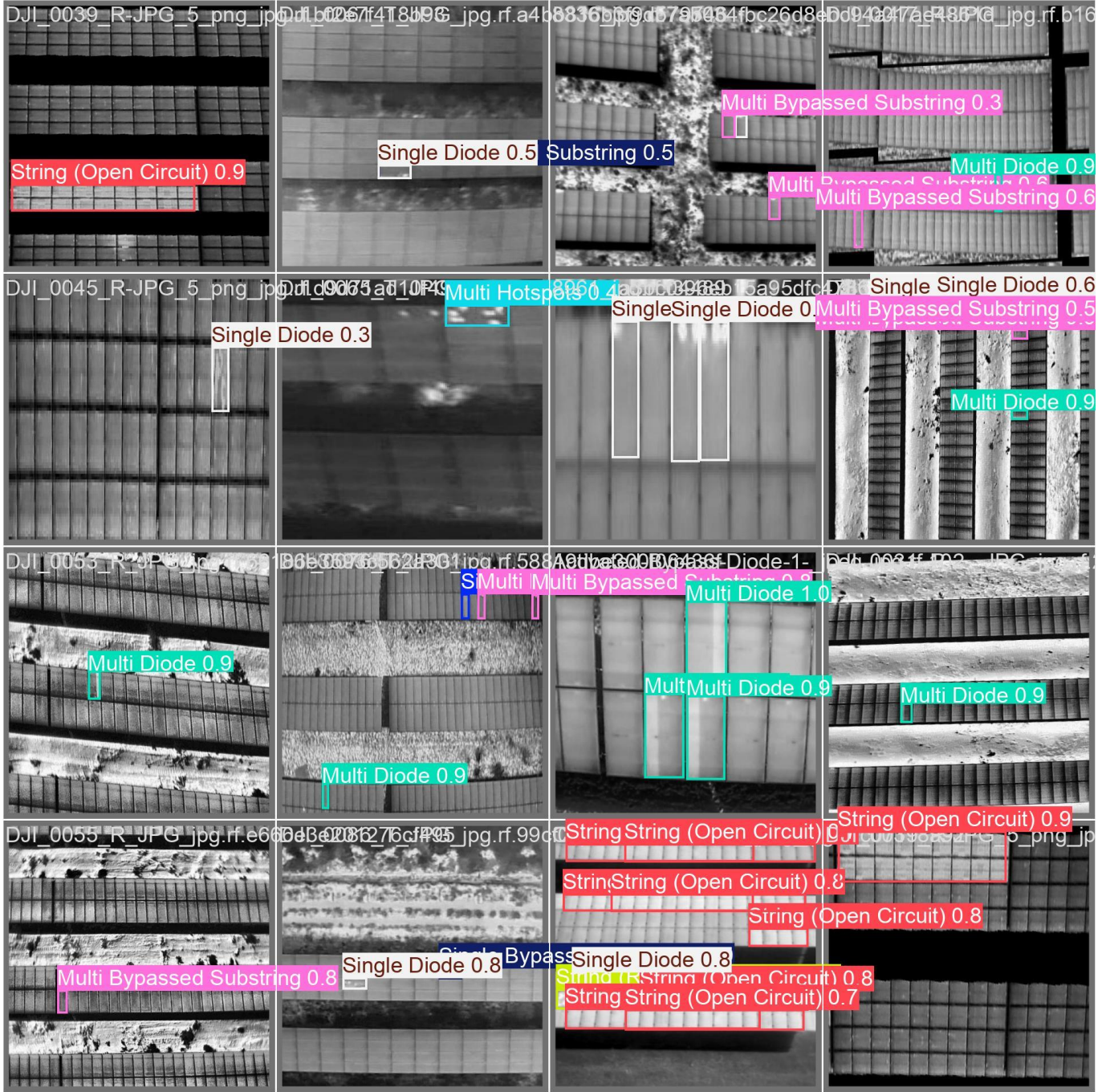


(e)

Şekil 6. Karışıklık matrisleri (a) YOLOv12 n modeli (b) YOLOv12 s modeli (c) YOLOv12 m modeli (d) YOLOv12 l modeli (e) YOLOv12 x modeli

Analizler, tüm modellerin özellikle “Multi Diode” ve “Multi Bypassed Substring” gibi belirgin ve büyük alan kaplayan anomali türlerini yüksek doğrulukla tespit ettiğini göstermektedir. Bununla birlikte, “Single Hotspot” ile “Multi Hotspots” gibi birbirine görsel olarak benzeyen anomali sınıfları arasında ve “Single Diode” ile diğer anomaliler arasında zaman zaman yanlış sınıflandırmalar yaşandığı gözlemlenmektedir. En yüksek performansı sergileyen YOLOv12 l modeline ait karışıklık matrisi (Şekil 6d), köşegen dışı hataların diğer modellere kıyasla daha az olduğunu ve sınıflandırma performansının daha dengeli olduğunu ortaya koymaktadır.

Şekil 7’de, en başarılı model olarak belirlenen YOLOv12 l varyantının farklı anomali türleri üzerindeki nitel performansını gösteren örnek görseller sunulmuştur.



Şekil 7. En yüksek performansı gösteren YOLOv12 l modelinin test veri seti üzerindeki örnek tespit sonuçları

Şekil 7, modelin özellikle “String (Open Circuit)”, “Multi Diode” ve “Multi Bypassed Substring” gibi farklı ve belirgin arızaları yüksek güven skorlarıyla (%70 ile %90 arasında değişen) doğru bir şekilde

saptayabildiğini göstermektedir. Bu görsel kanıtlar, Tablo 2’de sunulan nicel metrikleri ve Şekil 6(d)’deki karışıklık matrisi bulgularını desteklemekte ve YOLOv12 l mimarisinin fotovoltaiik panellerdeki arızaları tespit etme konusundaki pratik etkinliğini somut bir şekilde ortaya koymaktadır.

IV. TARTIŞMA

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, YOLOv12 algoritmasının termal görüntüler aracılığıyla fotovoltaiik panel anomalilerinin tespitinde etkili bir çözüm sunduğunu göstermektedir. Özellikle YOLOv12 l varyantı hem sınıflandırma doğruluğu hem de lokalizasyon başarısı açısından öne çıkmıştır. Önceki YOLO sürümleriyle (YOLOv1-v10) yapılan benzer çalışmalarda [19], genellikle CNN tabanlı mimarilerin performansı değerlendirilmiştir. YOLOv12’nin dikkat tabanlı mimarisi ve FlashAttention gibi yenilikçi teknolojileri, bu geleneksel yaklaşımlardan ayrılarak donanım-yazılım optimizasyonu sayesinde rekabetçi bir performans sunmaktadır. Elde edilen %71,96 mAP50 değeri, literatürdeki diğer modern nesne tespit modelleriyle [18, 19] karşılaştırıldığında rekabetçi bir seviyede olup, YOLOv12’nin bu spesifik görev için ne kadar uygun olduğunu göstermektedir.

Karışıklık matrislerinin analizi (Şekil 6), modelin “Multi Diode” ve “Multi Bypassed Substring” gibi geniş alana yayılan ve termal izleri belirgin olan arızaları yüksek başarımla sınıflandırdığını göstermiştir. Bu durum, modelin ayırt edici büyük ölçekli özellikleri öğrenmede etkili olduğunu düşündürmektedir. Ancak, “Single Hotspot” ile “Multi Hotspot” gibi görsel olarak benzer ve “Single Diode” gibi daha küçük, lokal arızaların tespiti ve sınıflandırılmasında zorluklar yaşanması, modelin ince taneli sınıflandırma kabiliyetinin geliştirilmesi gereken bir alan olduğuna işaret etmektedir. Bu sonuçlar, YOLOv12’nin, güneş enerjisi santrallerinde insansız hava araçları (İHA) ile yapılan otonom denetim sistemlerine entegre edilme potansiyelini göstermektedir. Erken arıza tespiti, enerji üretim kayıplarını en aza indirmenin yanı sıra yangın gibi güvenlik risklerini de önleyerek santral işletme verimliliğini ve güvenliğini artırabilir.

Çalışmanın bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Öncelikle, analizler Kaggle platformundan elde edilen tek bir kamuya açık veri setine dayanmaktadır. Modelin farklı coğrafi bölgelerden, çeşitli çevresel koşullar (örneğin, farklı ışınım seviyeleri, nem, kirlilik) altında toplanmış verilerle test edilmesi, genelleme yeteneğini daha sağlam bir şekilde ortaya koyacaktır. İkinci olarak, YOLOv12’nin Ampere ve üzeri NVIDIA GPU mimarilerine olan donanım bağımlılığı, algoritmanın daha eski veya farklı donanımlarda kullanımını kısıtlayıcı bir faktör olabilir.

Gelecekteki çalışmalarda, modelin zorlandığı görsel olarak benzer sınıflar arasındaki ayrım kabiliyetini artırmak için odaklanmış veri artırma teknikleri veya kayıp fonksiyonu modifikasyonları denenebilir. Ayrıca, modelin gerçek zamanlı performansının sahada bir İHA üzerine entegre edilerek test edilmesi ve farklı hava koşullarının model doğruluğuna etkisinin incelenmesi değerli olacaktır. Son olarak, termal verilerin elektrolüminans veya görsel spektrum görüntüleri gibi diğer modalitelerle birleştirilmesi, daha kapsamlı ve güvenilir bir arıza tespit sistemi oluşturma potansiyeli taşımaktadır.

V. SONUÇLAR

Bu çalışmada, termal görüntüler kullanılarak fotovoltaiik panellerde meydana gelen anomalilerin tespiti amacıyla YOLOv12 algoritmasının farklı varyantları performans açısından karşılaştırılmıştır. Yapılan analizler sonucunda, YOLOv12 l modeli %71,96 mAP50 ve %54,78 mAP50-95 değerleriyle en başarılı varyant olarak belirlenmiştir. Çalışmanın sonuçları, YOLOv12 mimarisinin özellikle dikkat tabanlı yapı ve FlashAttention optimizasyonları sayesinde fotovoltaiik panel arızalarının otomatik ve doğru bir şekilde tespitinde güçlü bir alternatif sunduğunu göstermektedir. Modelin hem sınıflandırma hem de lokalizasyon başarısı, gelecekteki bakım ve izleme sistemlerine entegre edilmesi için umut verici bir temel oluşturmaktadır. İleri çalışmalar kapsamında, modelin farklı iklim koşulları, panel tipleri ve daha geniş veri setleri üzerinde test edilerek genelleme kabiliyetinin artırılması ve model boyutunun optimize edilerek düşük donanım kapasiteli sistemlerde de etkin çalışabilirliğinin sağlanması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Soukharev, B. (2025). Signs of global warming and climate change can be seen everywhere. In *Global Warming and Mass Migration: Climate change and its impact on migration to the North* (pp. 1-30). Cham: Springer Nature Switzerland.
- [2] Banu, N., & Fazal, S. (2025). Climate change, livelihood crisis and resilience: an introduction. In *Livelihoods and Well-Being in the era of climate change: risk to resilience across India* (pp. 3-18). Cham: Springer Nature Switzerland.
- [3] IEA, International Energy Agency, (2023). CO₂ Emissions in 2022. Erişim adresi: <https://www.iea.org/reports/co2-emissions-in-2022>
- [4] Islam, M. A., Hasanuzzaman, M., Rahim, N. A., Nahar, A., & Hosenuzzaman, M. (2014). Global renewable energy-based electricity generation and smart grid system for energy security. *The Scientific World Journal*, 2014(1), 197136.
- [5] Obaideen, K., Olabi, A. G., Al Swailmeen, Y., Shehata, N., Abdelkareem, M. A., Alami, A. H., Rodriguez, C., & Sayed, E. T. (2023). Solar energy: Applications, trends analysis, bibliometric analysis and research contribution to sustainable development goals (SDGs). *Sustainability*, 15(2), 1418.
- [6] IEA, International Energy Agency, (2024). Renewables 2024. Erişim adresi: <https://www.iea.org/reports/renewables-2024>
- [7] Jordan, D. C., Silverman, T. J., Wohlgemuth, J. H., Kurtz, S. R., & VanSant, K. T. (2017). Photovoltaic failure and degradation modes. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 25(4), 318-326.
- [8] IEA, International Energy Agency, (2021). Turkey 2021 Energy Policy Review. Erişim adresi: <https://www.iea.org/reports/turkey-2021>
- [9] Santhakumari, M., & Sagar, N. (2019). A review of the environmental factors degrading the performance of silicon wafer-based photovoltaic modules: Failure detection methods and essential mitigation techniques. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 110, 83-100.
- [10] Al Mahdi, H., Leahy, P. G., Alghoul, M., & Morrison, A. P. (2024). A review of photovoltaic module failure and degradation mechanisms: causes and detection techniques. *Solar*, 4(1), 43-82.
- [11] Goudelis, G., Lazaridis, P. I., & Dhimish, M. (2022). A review of models for photovoltaic crack and hotspot prediction. *Energies*, 15(12), 4303.
- [12] Balachandran, G. B., Devisridhivadharshini, M., Ramachandran, M. E., & Santhiya, R. (2024). Comparative investigation of imaging techniques, pre-processing and visual fault diagnosis using artificial intelligence models for solar photovoltaic system—A comprehensive review. *Measurement*, 232, 114683.
- [13] Belhachat, F., Larbes, C., & Bennia, R. (2024). Recent advances in fault detection techniques for photovoltaic systems: An overview, classification and performance evaluation. *Optik*, 171797.
- [14] Jalal, M., Khalil, I. U., & ul Haq, A. (2024). Deep Learning approaches for visual faults diagnosis of photovoltaic systems: State-of-the-art review. *Results in Engineering*, 102622.
- [15] Lamb, W. P., Asnes, D. E., Kupfer, J., Lickey, E., Bakken, J., Haskell, R. C., Saeta, P. N., & Yang, Q. (2022). Real-time anticipation and prevention of hot spots by monitoring the dynamic conductance of photovoltaic panels. *IEEE Journal of Photovoltaics*, 12(4), 1051-1057.
- [16] Wu, Z., Hu, Y., Wen, J. X., Zhou, F., & Ye, X. (2020). A review for solar panel fire accident prevention in large-scale PV applications. *IEEE Access*, 8, 132466-132480.
- [17] Ghanbari, T. (2017). Hot spot detection and prevention using a simple method in photovoltaic panels. *IET Generation, Transmission & Distribution*, 11(4), 883-890.
- [18] Han, T., Bao, M., He, T., Zhang, R., Feng, X., & Huang, Y. (2025). LW-PV DETR: Lightweight model for photovoltaic panel surface defect detection. *Engineering Research Express*, 7(1), 015357.
- [19] Hussain, M., & Khanam, R. (2024). In-depth review of YOLOv1 to YOLOv10 variants for enhanced photovoltaic defect detection. *Solar*, 4(3), 351-386.
- [20] Thermal Solar PV Anomaly Detection Dataset. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.kaggle.com/datasets/pkdarabi/solarpanel>
- [21] Tian, Y., Ye, Q., & Doermann, D. (2025). YOLOv12: Attention-centric real-time object detectors. *arXiv preprint arXiv:2502.12524*.

Güneş Enerjisi Santrallerinin Dağıtım Şebekelerine Entegrasyonunun Etkileri ve Çözüm Yaklaşımları

Bilal İnci^{1*} ve Ahmet Çıfci²

¹Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Türkiye

²Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Türkiye

*(inci_46@hotmail.com)

Özet – Yenilenebilir enerji kaynaklarının, özellikle de güneş enerjisi santrallerinin (GES) dağıtım şebekelerine artan entegrasyonu, geleneksel güç sistemlerinin operasyonel paradigmasını köklü bir biçimde değiştirmektedir. Bu çalışma, söz konusu entegrasyon sürecinin yol açtığı temel teknik zorlukları; gerilim regülasyonu problemleri, reaktif güç/kompanzasyon dengesizlikleri ve harmonik bozulmalar olmak üzere üç ana başlık altında sistematik bir şekilde incelemektedir. Her bir problem alanı, kök nedenleri ve şebeke üzerindeki olumsuz etkileriyle birlikte analiz edilmiş; ardından bu sorunların bertaraf edilmesine yönelik literatürde ve endüstriyel uygulamalarda yer alan güncel çözüm metodolojileri detaylandırılmıştır. Çözüm yaklaşımları kapsamında akıllı eviriciler, bataryalı enerji depolama sistemleri (BESS), Yük Altında Kademe Değiştiriciler (OLTC) ve Esnek Alternatif Akım İletim Sistemleri (FACTS) gibi modern teknolojilerin rolleri incelenmiştir. Ayrıca, konunun hukuki boyutu ele alınarak, Türkiye’deki mevcut mevzuatın bu teknik zorlukları nasıl adreslediği ve uluslararası standartlarla uyumu değerlendirilmiştir. Bu çalışma, GES entegrasyonunun çok katmanlı bir mühendislik problemi olduğunu ortaya koymakta ve şebeke kararlılığı ile güç kalitesinin sürdürülebilirliği için teknolojik, operasyonel ve regülatif çözümlerin bütüncül bir yaklaşımla ele alınması gerektiğini vurgulamaktadır.

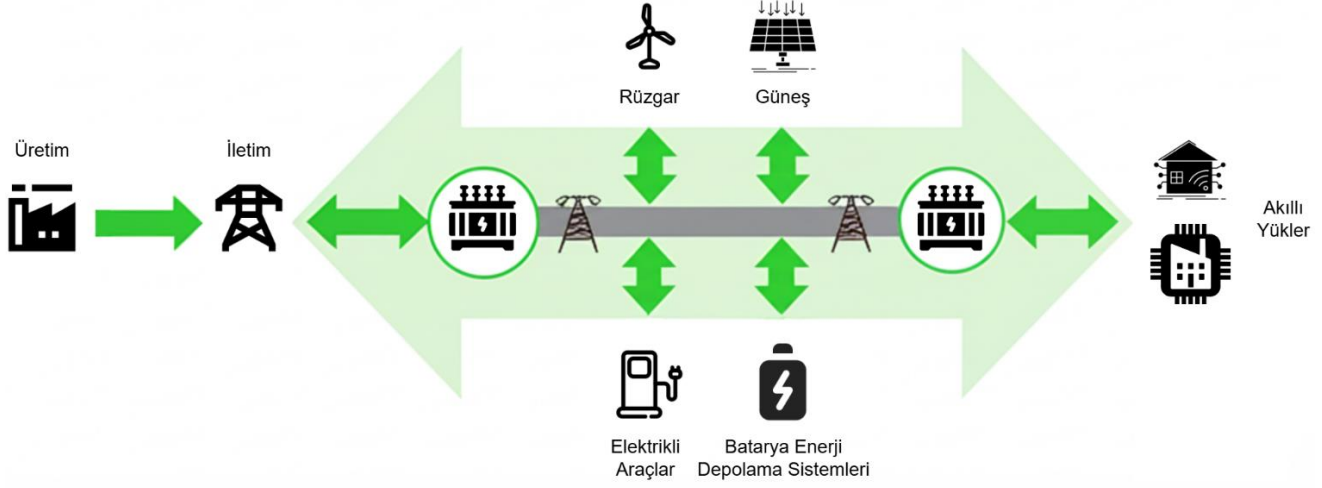
Anahtar Kelimeler – Dağıtık Üretim, Güneş Enerjisi Entegrasyonu, Gerilim Regülasyonu, Reaktif Güç Yönetimi, Güç Kalitesi.

I. GİRİŞ

Küresel iklim değişikliğiyle mücadele stratejileri ve sürdürülebilirlik hedeflerinin bir gereği olarak, yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı elektrik enerjisi üretimi, küresel ölçekte ivme kazanan bir eğilim olarak öne çıkmaktadır. Türkiye, bu küresel eğilime paralel olarak, bilhassa güneş ve rüzgâr enerjisi alanlarındaki kurulu gücünü son yıllarda kayda değer ölçüde artırmıştır. Bu artışın somut bir göstergesi olarak, Temmuz 2022 itibarıyla yaklaşık 9,7 GW olan güneş enerjisi kurulu gücünün, 2024 yılı sonu itibarıyla 19 GW seviyesini aşarak yalnızca iki buçuk yıllık bir periyotta iki katına çıkmış olmasıdır [1].

Söz konusu hızlı büyüme, dağıtım şebekelerine entegre edilen çok sayıda yeni Güneş Enerjisi Santrali’nin (GES) işletmeye alınmasına ve bunun neticesinde şebeke operasyonlarında daha önce karşılaşılmayan yeni koşulların ortaya çıkmasına neden olmuştur. Merkezi üretimden tüketim noktalarına doğru tek yönlü bir enerji akışı prensibine göre tasarlanmış olan konvansiyonel dağıtım şebekelerinin yapısı, dağıtık üretim tesislerinin sisteme dahil olmasıyla birlikte köklü bir transformasyona uğramaktadır [2-4]. Şekil 1’de görüldüğü üzere, modern elektrik şebekesi, dağıtık üretim ve depolama sistemlerinin entegrasyonu sayesinde çift yönlü enerji akışına izin veren karmaşık bir yapıya dönüşmüştür. Dağıtık üretim kaynaklarının şebekeye bağlandığı noktalarda, iletim kayıplarının azalması, gerilim desteği sağlanması ve pik yüklerin hafifletilmesi gibi pozitif katkılar gözlemlenebilmekle birlikte, çeşitli negatif etkilerin ortaya çıkması da muhtemeldir [5, 6]. Gerçekleştirilen akademik çalışmalar, fotovoltaiik (PV) sistemlerin sürekli işletim koşullarında, özellikle gerilim profili üzerinde olumsuz etkilere yol açabileceğini ve muhtelif güvenlik sorunlarını tetikleyebileceğini göstermektedir [7, 8]. Bu sebeple, yenilenebilir enerji kaynaklı

üretimin dağıtım hatlarına entegrasyonunun şebeke üzerindeki etkilerinin detaylı bir biçimde analiz edilmesi, bu süreçte ortaya çıkan teknik sorunların tespiti ve bu sorunlara yönelik etkin çözüm yöntemlerinin geliştirilmesi büyük önem arz etmektedir.



Şekil 1. Dağıtık enerji kaynaklarının entegrasyonu ile çift yönlü enerji akışı

Bu çalışmanın ilerleyen bölümlerinde, dağıtım şebekelerinde yenilenebilir enerji, özellikle de güneş enerjisi entegrasyonundan kaynaklanan bağlantı sorunları, üç temel başlık altında incelenmektedir: Gerilim problemleri, reaktif güç/kompanzasyon problemleri ve harmonik problemleri. Akabinde, bu sorunların çözümüne yönelik mevcut ve önerilen yöntemler ele alınacak; elde edilen bulgular, Türkiye'ye özgü ilgili mevzuat çerçevesinde değerlendirilerek özetlenecektir.

II. DAĞITIM ŞEBEKESİNDE BAĞLANTI PROBLEMLERİNİN TEKNİK ANALİZİ

Dağıtık üretim tesislerinin şebekeye artan entegrasyonu, geleneksel tek yönlü güç akışı paradigmasını değiştirerek operasyonel açıdan yeni teknik zorluklar doğurmaktadır. Bu bölümde, Şekil 2'de gösterilen yapı çerçevesinde söz konusu zorluklar; gerilim regülasyonu, reaktif güç yönetimi ve harmonik bozulmalar başlıkları altında, temel nedenleri ve etkileriyle incelenecektir.



Şekil 2. Dağıtık üretim entegrasyonunun yol açtığı temel teknik problemler

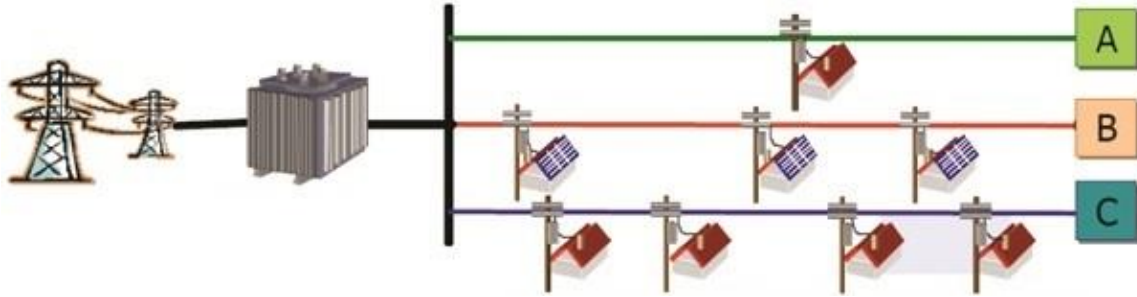
A. Gerilim Regülasyonu Problemleri

Dağıtım şebekelerine PV tabanlı üretim tesislerinin entegrasyonu, şebekenin gerilim profillerinde önemli pertürbasyonlara neden olma potansiyeli taşımaktadır. Konvansiyonel dağıtım sistemleri, transformatörler

ve hat empedansları itibarıyla, enerjinin kaynaktan yüke doğru tek yönlü akışı prensibine göre tasarlanmıştır. Ancak, GES'lerin devreye girmesiyle, özellikle yerel tüketimin üretimden düşük olduğu durumlarda, Ters Güç Akışı (Reverse Power Flow - RPF) olarak bilinen olgu meydana gelir. Bu durum, şebeke üzerinde aşırı gerilim koşullarının oluşmasına zemin hazırlar [9]. Bilhassa gün ortası gibi yük talebinin asgari, PV üretiminin ise azami olduğu periyotlarda, enerji akış yönünün tüketiciden transformatöre doğru tersine dönmesi, hat sonlarındaki veya PV bağlantı noktasına yakın düğümlerdeki gerilimin, yönetmeliklerle tanımlanan operasyonel sınırları aşmasına yol açabilir. Gerilim bandı ihlalleri, tüketicilere ait cihazlarda arızalara sebebiyet vermesi ve şebeke ekipmanları üzerinde termal ve elektriksel stresi artırması nedeniyle dağıtım şebekesi işletmeciliği açısından kabul edilemez bir durumdur.

Alçak gerilim (AG) seviyesinde, EN 50160 gibi uluslararası standartlar, şebeke geriliminin nominal değer $\pm\%10$ 'u aralığında kalmasını zorunlu kılmaktadır [10]. Orta gerilim (OG) şebekeleri için de benzer şekilde dar tolerans bantları tanımlanmıştır. Ancak, dağıtık üretim penetrasyonunun yoğun olduğu hatlarda bu sınırların ihlal edilme riski artmaktadır. Yapılan bir analizde, OG dağıtım şebekesine PV entegrasyonu incelenmiş; dengeli bir üretim-tüketim senaryosunda şebeke geriliminin 30,89 kV'tan nominal seviye olan 31,5 kV'a yükseldiği gözlemlenmiştir. Buna mukabil, kontrolsüz ve yüksek bir PV üretimini içeren hatalı entegrasyon senaryosunda ise gerilimin 32,56 kV seviyesine çıkarak standartların üzerinde, kabul edilemez bir aşım oluşturduğu tespit edilmiştir [2]. Bu bulgu, dağıtık üretimin plansız veya aşırı boyutta entegrasyonunun gerilim profillerini regülasyon sınırlarının dışına taşıyabildiğini kanıtlamaktadır.

Dağıtım şebekelerinde gerilim regülasyonunun karmaşıklığı, farklı yük profillerine sahip fiderlerin aynı transformatörden beslendiği senaryolarda daha belirgin hale gelmektedir. Şekil 3'teki şebekede, hafif yüklü A hattı, ağır yüklü C hattı ve GES bağlantılı B hattının aynı transformatöre bağlı olduğu bir durumu ele alalım.



Şekil 3. Aynı dağıtım transformatörüne bağlı farklı karakteristikteki yükler [11]

Transformatörün sekonder gerilimi, B hattında aşırı gerilim oluşumunu engellemek amacıyla düşük bir seviyeye ayarlandığında, ağır yüklü C hattının sonundaki gerilim seviyesi standart alt sınırın altına düşme riskiyle karşı karşıya kalır. Ters durumda, C hattındaki düşük gerilimi kompanze etmek için transformatör kademesi yükseltildiğinde ise B hattındaki gerilim bu kez aşırı gerilim bölgesine girmektedir [10]. Bu regülasyon ikilemi, dağıtık üretim varlığında geleneksel gerilim kontrol yöntemlerinin yetersiz kalabildiğini göstermektedir. Ayrıca, bulut geçişleri gibi atmosferik koşullara bağlı olarak PV üretimindeki ani ve hızlı değişimler, gerilim dalgalanmalarına ve fliker olarak adlandırılan güç kalitesi bozulmalarına neden olabilir. Bu nedenlerle gerilim kararlılığının muhafaza edilmesi, dağıtık üretim entegrasyonunun en kritik teknik zorluklarından birini teşkil etmektedir.

B. Reaktif Güç Yönetimi ve Kompanzasyon Problemleri

Dağıtım şebekesine bağlanan yenilenebilir enerji kaynakları, sistemin reaktif güç akış dinamiklerinde de köklü değişimlere yol açmaktadır. Güneş enerjisi sistemlerinde kullanılan güç elektroniği tabanlı eviriciler (inverterler), genellikle birim güç faktöründe ($\cos\phi \approx 1$) çalışacak şekilde konfigüre edilir. Bu operasyonel tercihin temel nedeni, üretilen aktif gücü maksimize etmek ve dağıtım şirketleri tarafından uygulanan reaktif enerji tarifelerinden kaynaklanan cezai yaptırımlardan kaçınmaktır. Eviricilerin birim güç faktöründen saparak reaktif güç üretmesi veya tüketmesi durumunda, (1) şebekeye basılan aktif güç miktarının azalmasıyla santral verimliliğinde düşüş ve (2) şebeke ile kontrolsüz bir reaktif güç alışverişi

nedeniyle tesise yüksek maliyetli reaktif güç cezaları tahakkuk ettirilmesi gibi iki temel sorun ortaya çıkar [12].

Bununla birlikte, GES işletmelerinde kompanzasyon ihtiyacı, üretim periyotları ve üretim dışı periyotlar arasında farklılık göstermektedir. Gündüz saatlerinde, yüksek aktif güç üretimi nedeniyle tesisin reaktif güç tüketiminin toplam güce oranı düşük kalmakta ve genellikle ilave bir kompanzasyon ihtiyacı doğmamaktadır. Ancak gece saatlerinde veya üretimin olmadığı durumlarda, GES devre dışı kalır ve tesis şebekeden düşük miktarda bir aktif enerji çekerken, eviricilerin ve uzun kablo hatlarının yarattığı kapasitif etki nedeniyle şebekeye kapasitif karakterli reaktif güç enjekte edebilir. Gündüz saatlerinde aktif güce oranla ihmal edilebilir düzeyde olan bu kapasitif etki, gece saatlerinde aktif güç akışının neredeyse sıfır olmasıyla baskın hale gelerek kapasitif reaktif ceza riskini ortaya çıkarır [12]. Özellikle mevcut endüstriyel tesislere entegre edilen çatı tipi GES uygulamalarında, PV sisteminin devreye alınmasının ardından mevcut kompanzasyon sistemlerinde gerekli revizyonların yapılmaması halinde kapasitif cezalarla karşılaşıldığı sıkça rapor edilmektedir [13].

Bu problemin çözümü, klasik kompanzasyon sistemlerinin, sistemin kapasitif karakterini dengeleyecek şekilde şönt reaktörler ile teçhiz edilmesini gerektirir. Kapasitif reaktif gücü sönmölemek amacıyla kompanzasyon rölelerine uygun kademelerde şönt reaktörlerin ilave edilmesi, tesisin hem endüktif hem de kapasitif reaktif güç ihtiyacına dinamik olarak yanıt vermesini sağlar. Ayrıca, çift yönlü ölçüm yapabilen modern reaktif güç kontrol rölelerinin kullanımı, GES’li tesislerin operasyonel modlarını (gündüz/gece) hassas bir şekilde tespit ederek uygun kompanzasyon elemanlarını devreye alabilir [12].

Dağıtım şebekesi ölçeğinde ise yaygın PV entegrasyonu, fiderlerin reaktif güç karakteristiğini değiştirmektedir. Geleneksel olarak endüktif olan dağıtım hatları, yüksek PV üretimi ve düşük yük koşullarında kapasitif bir karaktere bürünebilir. Bu durum, dağıtım şirketlerinin gerilim regülasyonu için kullandığı kapasitör bankları gibi ekipmanların işletim stratejilerini yeniden değerlendirmesini gerektirir. Zira aşırı kapasitif reaktif güç, gerilim yükselmesi problemini daha da şiddetlendirebilir. Dolayısıyla, dağıtık üretimin yoğunlaştığı bölgelerde Statik Senkron Kompanzatörler (STATCOM) gibi dinamik kompanzasyon ekipmanlarının kullanımı önem kazanmaktadır [14].

C. Harmonik Distorsiyon Problemleri

Yenilenebilir enerji sistemlerinin entegrasyonu ile ilişkili bir diğer önemli güç kalitesi sorunu, harmonik bozulmalardır. PV sistemler, ürettikleri doğru akımı (DC), şebeke ile uyumlu alternatif akıma (AC) dönüştürmek için yarıiletken anahtarlama elemanlarına dayalı eviriciler kullanır. Bu eviricilerin doğası gereği gerçekleştirdiği yüksek frekanslı anahtarlama işlemleri, ideal sinüzoidal dalga formundan sapmalara neden olur. Bu sapmalar, temel frekansın tam katı frekanslara sahip olan ve harmonik olarak adlandırılan istenmeyen akım ve gerilim bileşenlerini meydana getirir [15].

Harmonik bileşenlerin şebekeye enjekte edilmesi; iletkenler, transformatörler ve motorlarda ek kayıplara ve aşırı ısınmaya, hassas elektronik cihazların hatalı çalışmasına ve koruma sistemlerinin istenmeyen açmalarına neden olabilir [16]. Bu durum hem enerji verimliliğini düşürür hem de ekipman ömürlerini kısaltarak önemli ekonomik kayıplara yol açar. Bu etkileri minimize etmek amacıyla, Türkiye’deki ilgili hizmet kalitesi yönetmelikleri ve IEEE 519 gibi uluslararası standartlar, şebekeye bağlanacak ekipmanlar için Toplam Harmonik Distorsiyon (Total Harmonic Distortion - THD) ve bireysel harmonik bileşenlerine yönelik sınırlar tanımlamaktadır. Örneğin, AG şebekeleri için toplam gerilim harmonik bozulmasının (THD_V) tipik olarak %5’i aşmaması gerekmektedir [15].

Modern PV evirici teknolojileri, gelişmiş Darbe Genişlik Modülasyonu (Pulse Width Modulation - PWM) algoritmaları ve LCL gibi etkin filtre devreleri sayesinde harmonik emisyonlarını standartlarla uyumlu, oldukça düşük seviyelerde tutabilmektedir. Yapılan çalışmalar, uygun tasarlanmış pasif filtrelerin harmonik bozulmayı kabul edilebilir seviyelere indirdiğini göstermektedir [15]. Bununla birlikte, çok sayıda eviricinin aynı noktaya bağlandığı yüksek penetrasyonlu sistemlerde, eviricilerin harmonik akımları ile şebeke empedansının (özellikle kapasitör bankları ve kablo kapasitelerinin) etkileşime girerek belirli frekanslarda harmonik rezonans yaratma riski bulunmaktadır. Bu nedenle, büyük ölçekli GES bağlantılarında, toplu bir harmonik analizi yapılarak potansiyel rezonans risklerinin değerlendirilmesi kritik öneme sahiptir. Sonuç olarak, PV sistemlerinin harmonik etkileri teknolojik olarak kontrol edilebilir olsa

da şebekenin genel güç kalitesinin korunması adına sürekli izlenmesi ve yönetilmesi gereken bir parametredir.

III. TEKNİK PROBLEMLERE YÖNELİK ÇÖZÜM METODOLOJİLERİ

Dağıtım şebekelerinde dağıtık üretimin yaygınlaşmasıyla ortaya çıkan ve önceki bölümde detaylandırılan teknik problemlere yönelik olarak, literatürde ve endüstriyel uygulamalarda çeşitli çözüm metodolojileri geliştirilmiştir. Bu bölümde, gerilim regülasyonu, reaktif güç yönetimi ve harmonik bozulmaların negatif etkilerini azaltmaya yönelik temel çözüm yaklaşımları ve ileri düzey stratejiler ele alınmaktadır.

A. Gerilim Problemlerine Yönelik Çözüm Yaklaşımları

Dağıtık üretimin neden olduğu gerilim pertürbasyonlarının sönümlenmesi hem şebeke operatörü hem de üretim tesisi seviyesinde uygulanabilecek müdahaleleri gerektirir. Temel yaklaşımlardan biri, dağıtım transformatörlerinde Yük Altında Kademe Değiştirici (On-Load Tap Changer - OLTC) mekanizmalarının kullanılmasıdır. Yüksek PV penetrasyonuna sahip şebekelerde OLTC'ler, yük ve üretimdeki değişimlere bağlı olarak transformatörün çevirme oranını dinamik olarak ayarlayarak gerilim regülasyonunda etkin bir araç teşkil eder [9]. Bununla birlikte, sık kademe değiştirme işlemi mekanik aşınmayı artırarak transformatörün operasyonel ömrünü kısaltabileceğinden ve çok hızlı gerilim salınımlarına yanıt vermede gecikme yaşayabileceğinden, tek başına yeterli olmayabilir. Benzer şekilde, hat boyunca konumlandırılan adım gerilim regülatörleri de gerilim profilini iyileştirmek için kullanılabilir.

Modern PV eviricileri, gerilim kontrolüne aktif olarak katılabilecekleri gelişmiş fonksiyonlarla donatılmıştır. Bu fonksiyonlar arasında en yaygın olanları Volt-VAr (Gerilime Bağlı Reaktif Güç Kontrolü) ve Volt-Watt (Gerilime Bağlı Aktif Güç Kısıntısı) kontrol modlarıdır [9].

Volt-VAr Kontrolü: Şebeke geriliminin tanımlanan bir eşik değeri aşması durumunda, evirici şebekeden endüktif reaktif güç çekerek (veya kapasitif reaktif güç basarak) gerilim yükselmesini baskılayabilir.

Volt-Watt Kontrolü: Gerilim seviyesinin kritik sınırlara ulaşması halinde, evirici aktif güç çıkışını otonom olarak kısarak ters güç akışını azaltır ve gerilimin düşmesine yardımcı olur. Aktif güç kısıntısı, enerji üretim kaybına neden olduğu için ekonomik açıdan yatırımcılar için son çare olarak görülse de şebeke kararlılığının korunması adına kritik bir işlevdir.

Gerilim kontrolü için Esnek AC İletim Sistemleri (FACTS) cihazları gibi özel ekipmanlar kullanılabilir. Statik Senkron Kompanzatörler (STATCOM), bağlantı noktasına anlık ve dinamik olarak reaktif güç enjekte ederek veya çekerek gerilim dalgalanmalarını ve flikeri etkin bir şekilde sönümler [17, 18].

Bataryalı enerji depolama sistemleri (BESS), gerilim regülasyonu için çok fonksiyonlu bir çözüm sunar. Fazla PV üretimi sırasında enerjiyi depolayarak ters güç akışını ve dolayısıyla gerilim yükselmesini önlerken, üretimin düştüğü veya talebin arttığı anlarda depolanan enerjiyi şebekeye deşarj ederek gerilim düşümlerini engeller [19, 20]. Literatürde, BESS ünitelerinin OLTC ve diğer regülatörlerle eşgüdümlü kontrolüne dayalı, gerilim profilini optimize eden hibrit kontrol algoritmaları da önerilmektedir [9].

Önleyici bir tedbir olarak, yeni GES bağlantıları öncesinde detaylı güç akışı ve kısa devre analizleri yapılmalıdır. Yapılan teknik değerlendirmeler sonucunda, önerilen santralin gerilim profilini standartların dışına taşıyacağı öngörülürse, iletken kesitlerinin artırılması, ek transformatör tesisi veya santral için daha uygun bir bağlantı noktası belirlenmesi gibi şebeke güçlendirme çalışmaları zorunlu hale gelebilir.

B. Reaktif Güç/Kompanzasyon Sorunlarına Yönelik Çözüm Yaklaşımları

Tesis seviyesinde temel çözüm, eviricilerin güç faktörünün hassas bir şekilde yönetilmesidir. Üretim sırasında eviricilerin birim güç faktöründe ($\cos\phi \approx 1$) çalıştırılması esastır. Gece saatlerinde veya düşük üretimde ortaya çıkan kapasitif etkiyi dengelemek için, tesisin mevcut kompanzasyon sisteminin, şebekeden çekilen veya şebekeye basılan reaktif gücü çift yönlü olarak ölçebilen akıllı kompanzasyon röleleri ile donatılması gerekir. Bu röleler, tesisin operasyonel moduna (tüketim/üretim) göre şönt reaktör veya kondansatör kademelerini otomatik olarak devreye alır. Ayrıca, modern eviriciler gece modunda çalışarak, aktif güç üretimi olmasa dahi şebekeye reaktif güç desteği sağlayabilir [12].

Dağıtım Sistemi Operatörleri (DSO), dağıtık üretimin yaygın olduğu bölgelerdeki reaktif güç akışını dinamik olarak yönetmelidir. Bu, zaman ayarlı anahtarlanan geleneksel kapasitör bankları yerine, gerilim

seviyesine göre çalışan otomatik kontrollü kapasitör ve reaktör banklarının kullanılmasını içerir. Yüksek PV üretimi nedeniyle sistemin kapasitif bir karaktere büründüğü durumlarda, şebekeye entegre edilen şönt reaktörler ile reaktif güç dengesi sağlanır [12].

C. Harmonik Sorunlarına Yönelik Çözüm Yaklaşımları

PV sistem kaynaklı harmoniklerin negatif etkilerini azaltma, önleyici tasarım, izleme ve düzeltici eylemleri içeren çok katmanlı bir yaklaşımı gerektirir. Temel çözüm, uluslararası harmonik standartlarına (örn. IEEE 519, IEC 61000 serisi) uygun, düşük harmonik bozulma oranına sahip yüksek kaliteli eviricilerin seçilmesidir. Bu eviriciler, gelişmiş PWM teknikleri ve LCL gibi etkin pasif filtreler sayesinde şebekeye enjekte ettikleri harmonik akımları minimize eder [15].

Kurulum sonrası yapılan ölçümlerde harmonik seviyelerinin standartları aştığı tespit edilirse, harici filtre çözümleri uygulanır. Belirli bir harmonik frekansını hedef alan pasif filtreler (ayarlı filtreler) veya geniş bir frekans spektrumundaki harmonikleri ters fazda akım enjekte ederek dinamik olarak sönümleyen aktif güç filtreleri kullanılabilir.

DSO'lar tarafından kurulan güç kalitesi izleme sistemleri, şebekenin kritik noktalarındaki THD seviyelerini sürekli olarak takip eder. Bu veriler, harmonik kirliliğindeki artış trendlerini proaktif olarak tespit etme ve kaynağını belirleme imkânı sunar. Ayrıca, şebekede harmonik rezonans riskini önlemek amacıyla, kapasitör banklarının belirli harmonik frekanslarına karşı de-tune edilmiş reaktörlerle birlikte (reaktörlü kompanzasyon) kullanılması gibi planlama önlemleri alınır. Bu çerçevede, santral yatırımcıları şebeke ile uyumlu ekipman seçimi sorumluluğunu taşıırken, dağıtım şirketleri de güç kalitesi standartlarını uygulama ve denetleme yetkisine sahiptir.

IV. MEVZUAT ÇERÇEVESİNDE TEKNİK VE HUKUKİ DEĞERLENDİRME

Yenilenebilir enerji kaynaklarının dağıtım şebekesine entegrasyonu ve işletimi, Türkiye’de kapsamlı bir yasal ve teknik çerçeve ile düzenlenmektedir. Bu düzenlemeler, dağıtık üretimin şebeke ile güvenli, kararlı ve uyumlu bir biçimde bütünleşmesini temin etmeyi hedefleyen teknik kriterleri, idari prosedürleri ve işletme esaslarını tanımlamaktadır.

Türkiye’de, özellikle küçük ve orta ölçekli dağıtık üretim tesislerinin şebekeye entegrasyonu, temel olarak “Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik” ve bu yönetmelikte yapılan müteakip değişiklikler ile düzenlenmektedir. Bu yönetmelik uyarınca, belirli kapasite sınırları dahilindeki yenilenebilir enerji tesislerinin lisans alma muafiyetiyle dağıtım sistemine bağlanmasına olanak tanınmıştır. Güncel mevzuat, 11 kW ve altı kurulu güce sahip fotovoltaik sistemlerin AG seviyesinden, 11 kW üzeri sistemlerin ise dağıtım şirketinin yapacağı teknik tahkike bağlı olarak AG veya OG seviyesinden şebekeye bağlanmasını öngörmektedir [10]. Lisanssız üretim için genel üst sınır 1 MW olarak belirlenmiş olmakla birlikte, öz tüketim modelleri ve çatı tipi GES uygulamalarının teşviki amacıyla bu sınırdaki esneklikler ve özel düzenlemeler getirilmiştir. Yönetmelik, her bir tesis için standart bir başvuru ve proje onay süreci tanımlar. Bu süreçte dağıtım şirketi, bağlantı talep edilen noktanın teknik elverişliliğini; trafo yüklenme oranı, hat iletkenlerinin termal limiti, kısa devre gücü ve potansiyel gerilim saptamaları gibi parametreler üzerinden değerlendirir. Teknik analizler sonucunda bağlantının şebeke güvenliğini tehlikeye atacağı veya işletme standartlarını ihlal edeceği tespit edilirse, dağıtım şirketi başvuruyu reddetme veya teknik olarak uygun alternatif bir bağlantı noktası tahsis etme yetkisine sahiptir.

Mevzuat, şebeke koruma sistemlerinin en kritik unsurlarından biri olan adalalaşma korumasına özel bir önem atfetmektedir. Dağıtım şebekesine paralel çalışan bir PV sisteminin, şebekede meydana gelen bir arıza veya planlı kesinti durumunda derhal ve otomatik olarak şebekeden izole olması hem saha personelinin can güvenliği hem de şebeke restorasyon operasyonlarının koordinasyonu için birincil bir gereklilik olarak tanımlanmıştır [10]. Bu doğrultuda, yönetmelik ve ilgili teknik şartnameler, eviricilerin ada modunu tespit ederek üretimi kesecek otonom koruma fonksiyonlarına sahip olmasını şart koşmaktadır. İlk düzenlemelerde bu konudaki teknik detaylarda belirsizlikler bulunsaydı da sonraki revizyonlarla EN 50438 gibi Avrupa standartlarına uyum sağlanmış; eviricilerin tanımlanmış gerilim ve frekans sapma aralıklarında azami 2 saniye içinde şebekeden ayrılması zorunluluğu getirilmiştir [10]. Örneğin, EN 50438 standardı, nominal 230 V’luk bir sistemde gerilimin 207 V altına düşmesi, 253 V üzerine çıkması veya frekansın 48

Hz-50,5 Hz bandının dışına çıkması durumunda ada modu tespiti yapılarak eviricinin bağlantısının kesilmesini talep etmektedir [10].

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) tarafından yayımlanan “Elektrik Dağıtım ve Perakende Satışına İlişkin Hizmet Kalitesi Yönetmeliği”, dağıtım sisteminde sağlanması gereken güç kalitesi parametrelerini ve standartlarını tanımlar. Bu yönetmelik, dağıtım şirketlerini, $\pm\%10$ gerilim bandı gibi tanımlı sınırlar dahilinde tüketicilere enerji arz etmekle sorumlu tutar. Aynı şekilde, şebekedeki harmonik bozulmalar için de uluslararası IEC/EN standartlarına atıfla belirlenmiş limitler mevcuttur. Dağıtım şirketi, herhangi bir şebeke kullanıcısının neden olduğu harmonik emisyonlarını kontrol altında tutmakla mükelleftir. Belirlenen sınırları aşan bir kullanıcıya yönelik olarak uyarı, düzeltme talebi ve son çare olarak bağlantının kesilmesi gibi yaptırımlar uygulama yetkisine sahiptir. Bu kurallar, güneş enerjisi santralleri için de geçerlidir. Özellikle MW seviyesindeki santrallerin devreye alınması sürecinde, harmonik ölçüm raporlarının dağıtım şirketine sunulması bir zorunluluktur. Ayrıca, eviricilerin şebekeye DC enjeksiyonu yapmasının önlenmesi, dağıtım transformatörlerinde DC doyma riskini bertaraf etmek amacıyla teknik şartnamelerde altı çizilen bir diğer kritik husustur [10].

Reaktif güç yönetimi, mevzuatın önemli bir diğer boyutunu oluşturur. Türkiye’deki tarife yapısı gereği, mesken dışı abonelerin çektikleri veya ürettikleri reaktif enerjinin aktif enerjiye oranının belirlenmiş sınırları (genellikle endüktif için $\tan(\varphi) > 0,33$; kapasitif için $\tan(\varphi) > 0,20$) aşması durumunda, “reaktif enerji tüketim bedeli” adı altında cezai bir müeyyide tatbik edilmektedir. Bu durum, GES’li tesislerin hem üretim hem de tüketim modlarında reaktif güç dengesini hassas bir şekilde yönetmesini zorunlu kılar. 2022 yılında yapılan bir düzenleme ile lisanssız GES tesislerinin kompanzasyon sistemlerine dair kayıt ve bildirim yükümlülükleri daha da netleştirilmiş, belirli durumlarda üretim noktasında reaktif güç destek ekipmanlarının bulundurulması şart koşulmuştur [1]. Bu düzenlemeler, dağıtım şebekesinin genel güç faktörünün korunarak sistem verimliliğinin ve kararlılığının artırılmasını amaçlamaktadır.

Türkiye, dağıtım şebekesine yenilenebilir enerji entegrasyonu konusunda, uluslararası standartları ve en iyi uygulamaları, ulusal mevzuatın harmonizasyonu çerçevesinde yakından referans almaktadır. Ulusal standartların henüz geliştirilmediği alanlarda, TEİAŞ ve dağıtım şirketleri tarafından IEEE ve IEC gibi uluslararası kuruluşların standartları esas alınmaktadır. Örneğin, PV eviricilerinin şebeke bağlantı kriterleri için IEEE 1547 standardı uzun yıllardır de facto bir standart olarak kabul görmüştür [10]. Bu uluslararası normlar, TEİAŞ Şebeke Yönetmeliği ve Dağıtım Sistemine Bağlantı Şartları gibi üst düzey düzenlemeler aracılığıyla ulusal mevzuata entegre edilmektedir. Nitekim, söz konusu yönetmelik, iletim seviyesine bağlı rüzgâr ve güneş santrallerine yönelik frekans ve gerilim desteği gibi yardımcı hizmet yükümlülüklerini tanımlamıştır.

Sonuç itibarıyla, Türkiye’de dağıtık enerji kaynaklarının entegrasyonuna yönelik yasal ve teknik çerçeve, dinamik bir yapı sergilemekte ve artan dağıtık üretim penetrasyonunun getirdiği yeni teknik zorluklara yanıt verecek şekilde sürekli olarak evrilmektedir. Yatırımcılar ve işletmeciler için bu mevzuata tam uyum, yalnızca yasal bir zorunluluk değil, aynı zamanda şebeke ile uyumlu ve sürdürülebilir bir işletme pratiğinin temelini oluşturmaktadır.

V. SONUÇLAR

Bu çalışma, Türkiye’de ve dünyada hızla artan güneş enerjisi santrallerinin dağıtım şebekelerine entegrasyonunun yol açtığı temel teknik zorlukları ve bu zorluklara yönelik çözüm yaklaşımlarını kapsamlı bir biçimde ele almıştır. Yapılan analizler, dağıtık üretimin artan penetrasyonunun, geleneksel tek yönlü güç akışı prensibine göre tasarlanmış şebekelerde; (1) ters güç akışlarına bağlı gerilim yükselmeleri ve dalgalanmaları, (2) özellikle gece saatlerinde veya düşük üretimde ortaya çıkan reaktif güç dengesizlikleri ve kompanzasyon sorunları ve (3) evirici kaynaklı harmonik bozulmalar gibi üç temel teknik probleme yol açtığını ortaya koymuştur.

Bu sorunların çözümü için OLTC, akıllı eviricilerin Volt-VAr/Volt-Watt gibi gelişmiş fonksiyonları, STATCOM gibi FACTS cihazları, bataryalı enerji depolama sistemleri, akıllı kompanzasyon röleleri ve aktif/pasif filtreler gibi teknolojik ve metodolojik yaklaşımların mevcut olduğu vurgulanmıştır. Bu çözümlerin, şebeke kararlılığını ve güç kalitesini korumak için hem yerel tesis bazında hem de sistem operatörü seviyesinde koordineli bir şekilde uygulanması gerektiği anlaşılmaktadır. Ayrıca, Türkiye’deki

mevcut mevzuatın bu teknik gereklilikleri büyük ölçüde adreslediği, şebeke kodlarının uluslararası standartlarla uyum içinde geliştiği ve hem yatırımcılar hem de şebeke operatörleri için belirli sorumluluklar tanımladığı tespit edilmiştir. Mevzuatın varlığı, entegrasyon sürecinin kontrolsüz bir şekilde ilerlemesini engelleyerek şebeke güvenliğini temin etmede kritik bir rol oynamaktadır.

Dağıtım şebekelerine yenilenebilir enerji entegrasyonu, salt bir kapasite artışından ziyade, şebekenin işletim paradigmasını temelden değiştiren, proaktif planlama, dinamik kontrol ve ileri düzey izleme kabiliyetleri gerektiren karmaşık bir mühendislik problemidir. Gelecek çalışmalarda, akıllı evirici fonksiyonlarının ve enerji depolama sistemlerinin şebeke çapında eşgüdümlü kontrolüne yönelik optimizasyon algoritmalarının geliştirilmesi ve bu teknolojilerin maliyet-fayda analizlerinin Türkiye özelinde detaylandırılması, şebeke dönüşümünün sürdürülebilirliği açısından kritik önem taşıyacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Ember, (2025). Güneş kapasitesi 2,5 yılda iki katına çıkarak 2025 hedefini aştı. Erişim adresi: <https://ember-energy.org/tr/analizler/gunes-kapasitesi-25-yilda-iki-katina-cikarak-2025-hedefini-asti/>
- [2] Aydın, H., & Özcan, M. (2024). Effect of PV plants connected to the electrical distribution system on the mains voltage. *Alpha Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2(3), 12-28.
- [3] Cavus, M. (2025). Advancing power systems with renewable energy and intelligent technologies: A comprehensive review on grid transformation and integration. *Electronics*, 14(6), 1159.
- [4] Rajendran, G., Raute, R., & Caruana, C. (2025). A comprehensive review of solar PV integration with smart-grids: Challenges, standards, and grid codes. *Energies*, 18(9), 2221.
- [5] Muhtadi, A., Pandit, D., Nguyen, N., & Mitra, J. (2021). Distributed energy resources based microgrid: Review of architecture, control, and reliability. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 57(3), 2223-2235.
- [6] Iweh, C. D., Gyamfi, S., Tanyi, E., & Effah-Donyina, E. (2021). Distributed generation and renewable energy integration into the grid: Prerequisites, push factors, practical options, issues and merits. *Energies*, 14(17), 5375.
- [7] Neşeli, S., & Özmen, Ü. (2023). Güneş enerji sistemlerinin enterkonnekte şebeke sistemine zararları. *Mühendislikte Yenilikçi Yaklaşımlar-1*, Eğitim Yayınevi.
- [8] Shafiullah, M., Ahmed, S. D., & Al-Sulaiman, F. A. (2022). Grid integration challenges and solution strategies for solar PV systems: A review. *IEEE Access*, 10, 52233-52257.
- [9] Uzum, B., Onen, A., Hasanien, H. M., & Mueeen, S. M. (2020). Rooftop solar PV penetration impacts on distribution network and further growth factors—a comprehensive review. *Electronics*, 10(1), 55.
- [10] Kandemir, Ç., & Bayrak, M. (2015). Fotovoltaik sistemler şebekeye bağlı olduğunda oluşan sorunlar. Erişim adresi: https://www.emo.org.tr/ekler/793775cb4c25d71_ek.pdf
- [11] Blue Jay, (2025). Explain the problem of grid voltage over-range and its solution. Erişim adresi: <https://cqbluejay.com/explain-the-problem-of-grid-voltage-over-range-and-its-solution/>
- [12] Elhan, C. M. (2019). Güneş santralleri ve çatısında GES bulunduran tesislerde kompanzasyon. *Güneş Platformu Dergisi*, 4, 23-25.
- [13] İşin, E., & Çetinkaya, N. (2022). Endüstriyel tesislerde ges bağlandıktan sonra reaktif/aktif güç oranının YSA ile belirlenmesi. *Konya Journal of Engineering Sciences*, 10(2), 479-494.
- [14] Kumar, N., & Buwa, O. (2020). A review on reactive power compensation of distributed energy system. In 2020 7th International Conference on Smart Structures and Systems (ICSSS) (pp. 1-6). IEEE.
- [15] Aydınöz, H. (2021). Fotovoltaik güç santrallerinin elektrik şebekesine harmonik etkisinin modellenmesi ve analizi. *EMO Bilimsel Dergi*, 11(Özel Sayı), 56-63.
- [16] Ali, Z. M., Calasan, M., Jurado, F., & Aleem, S. H. A. (2024). Complexities of power quality and harmonic-induced overheating in modern power grids studies: Challenges and solutions. *IEEE Access*, 12, 151554-151597.
- [17] Biswas, P. P., Arora, P., Mallipeddi, R., Suganthan, P. N., & Panigrahi, B. K. (2021). Optimal placement and sizing of FACTS devices for optimal power flow in a wind power integrated electrical network. *Neural Computing and Applications*, 33(12), 6753-6774.
- [18] Adetokun, B. B., & Muriithi, C. M. (2021). Application and control of flexible alternating current transmission system devices for voltage stability enhancement of renewable-integrated power grid: A comprehensive review. *Heliyon*, 7(3).
- [19] Nasrazadani, H., Sedighi, A., & Seifi, H. (2021). Enhancing long-term voltage stability of a power system integrated with large-scale photovoltaic plants using a battery energy storage control scheme. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 131, 107059.
- [20] Datta, U., Kalam, A., & Shi, J. (2021). A review of key functionalities of battery energy storage system in renewable energy integrated power systems. *Energy Storage*, 3(5), e224.

Farklı SDS Konsantrasyonlarındaki TiN Partikül Takviyeli Ni-W Esaslı Kaplamlar

Alihan BERKAN^{1*}, Erhan DURU^{2,3} ve Hatem AKBULUT^{2,3}

¹Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü / Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi, Türkiye

²Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü / Mühendislik Fakültesi, Sakarya Üniversite, Türkiye

³Sakarya Üniversitesi Araştırma ve Geliştirme Merkezi, Sakarya Üniversitesi, Türkiye

*(alihanberkan1@gmail.com)

Özet – Bu çalışmada, elektrobiriktirme yöntemiyle üretilen titanyum nitrür (TiN) partikül takviyeli Ni-W (nikel-volfram) esaslı kompozit kaplamalarda, yüzey aktif madde olarak kullanılan sodyum dodesil sülfatın (SDS) farklı konsantrasyonlarının kaplama özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla, SDS konsantrasyonu sırasıyla 0,025 g/L, 0,100 g/L ve 0,200 g/L olacak şekilde üç farklı kaplama banyosu hazırlanmıştır. Daha sonra, ön işlemleri yapılmış 1040 çeliği üzerine kaplama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Kaplama sırasında tüm işlem parametreleri sabit tutulmuş, yalnızca SDS konsantrasyonu değiştirilerek bu parametrenin kaplama özelliklerine etkisi değerlendirilmiştir. Üretilen kaplamalar; yüzey morfolojisi (SEM), kimyasal bileşim ve kristal yapı (XRD), zeta potansiyeli, mikrosertlik (Vickers), aşınma davranışı gibi özellikler açısından incelenmiştir. Yüzey ve kesit görüntüleri taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile analiz edilmiş, kaplama kalınlığı ve homojenliği değerlendirilmiştir. Ayrıca, zeta potansiyeli ölçümleri ile kaplama banyosundaki partiküllerin dispersiyon kararlılığı hakkında bilgi elde edilmiştir. Bu çalışmanın temel amacı, sodyum dodesil sülfatın (SDS) kaplama mikro yapısı, mekanik özellikleri ve tribolojik performansı üzerindeki etkisini ortaya koymak ve optimum SDS konsantrasyon aralığını belirlemektir. Elde edilen bulguların, yüzey aktif madde kullanımının kompozit kaplama kalitesi ve mekanik performansına etkilerini açıklayarak literatüre katkı sağlaması hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler – Elektrobiriktirme, Aşınma, Sertlik, Kaplama, Sodyum Dodesil Sülfat (SDS), Ni-W.

I. GİRİŞ

Endüstride kullanılan malzemelerden kullanıldığı uygulama alanına göre birçok özellik istenmektedir. Bu özelliklerin hatırı sayılır bir kısmını ise yüzey özellikleri oluşturmaktadır. Günümüzde bu özellikleri sağlamak amacıyla yüzey kaplamaları yaygın olarak kullanılmaktadır [1]. Kaplamalar, malzemelerin sertlik, korozyon ve aşınma dayanımı gibi özellikleri geliştirilebilmek için kullanılabildiği gibi aynı zamanda görsel amaçlı olarak da kullanılmaktadır. Ayrıca zamanda tek bir malzeme ile sağlanamayan özelliklerin sağlanması için de kompozit ve partikül takviyeli kaplamalar oluşturmak da mümkündür. Bu tür kaplamalar seramik veya diğer sert partiküller ile birlikte kullanılarak hem mekanik hem de kimyasal dayanıklılık açısından avantajlı olabilmektedir. Böylece malzemenin sahip olduğu özelliklere ek olarak ekonomik ve etkili bir şekilde sertlik, aşınma ve korozyon direnci kazandırılabilir [2].

Nikel esaslı kaplamalar, krom gibi sert malzemelere karşı en güçlü kaplamalardan biridir. Bunun yanında nikel yanına ilave edilen W gibi elementler ile Ni-W gibi kompozit kaplamalar yapılabilmektedir [3]. Nikel kaplamalar akımlı ve akımsız şekilde oluşturulabileceği gibi kendi içerisinde de yöntemlere ayrılabilir. Yüzey kaplamaların akımlı bir şekilde yapılması elektrobiriktirme olarak da tanımlanabilmektedir. Elektrokaplamanın başlangıcı ise 18.yy başlarına dayanmaktadır [4].

Akımlı kaplama için ise birden fazla yöntem vardır. Doğru akım, kesikli akım ve tesine kesikli akım bunlardan birkaçıdır. Kaplama için farklı yöntem kullanılması kaplamanın kimyasal ve fiziksel özelliklerinde de etkilidir[4].

Daha iyi bir kaplama elde edebilmek için banyolarda kullanılan çeşitli kimyasallar mevcuttur. Bu kimyasallar yardımcı maddeler olarak da kullanılmaktadır. Bunları kullanmamızın bir amacı da partiküllerin topak hale gelmeden homojen bir şekilde yüzeye yapışmasıdır. [5] Bu malzemelerden biri de yüzey aktif madde olarak kullanılan sodyum dodesil sülfat (SDS)'tir [6]. Yüzey aktif maddeler yüzey gerilimini azaltarak homojen bir yapı ve çözeltide bir stabilite sağlayan maddelerdir[7]. Bu çalışmada bir yüzey aktif madde olan SDS'nin farklı konsantrasyonlarındaki çözeltilerinde üretilen kaplamaları inceleyeceğiz.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada kaplama işlemleri için altlık malzeme olarak 1040 çeliği tercih edilmiştir. Kaplama banyosuna daldırılmadan önce çelik altlıkların yüzeyi, sırasıyla mekanik zımparalama, alkali temizleme ve asit banyosuna daldırma işlemlerine tabi tutularak kaplamanın yüzeye daha iyi tutunmasını sağlayacak uygun bir yüzey durumu elde edilmiştir.

Kaplamalar için farklı SDS konsantrasyonlarına sahip üç ayrı kaplama banyosu hazırlanmıştır. Banyoların hazırlanmasında nikel kaynağı olarak nikel sülfat heksahidrat ($\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), volfram kaynağı olarak sodyum tungstat dihidrat ($\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), iletkenliği artırmak amacıyla sodyum bromür (NaBr), kompleks oluşturucu olarak sodyum sitrat dihidrat ($\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ve akım verimini iyileştirmek için amonyum klorür (NH_4Cl) kullanılmıştır. Belirlenen kimyasallar uygun oranlarda çözeltiye ilave edildikten sonra manyetik bir karıştırıcı yardımıyla homojen hale getirilmiştir.

Yüzey aktif madde olarak kullanılan sodyum dodesil sülfat (SDS) ve takviye fazı olarak tercih edilen titanyum nitrür (TiN) partikülleri, kaplama banyosuna eklenmeden önce ultrasonik karıştırma işlemine tabi tutulmuş, böylece partiküllerin aglomerasyonu önlenerek banyoda homojen bir dağılım sağlanmıştır. Ultrasonik ön işlemin ardından SDS ve TiN partikülleri kaplama çözeltisine ilave edilmiş ve karıştırma işlemi belirli bir süre daha devam ettirilmiştir.

SDS ve TiN içeren çözeltiler 3 farklı SDS oranında hazırlanmış olup oranları Tablo 1'de verilmiştir. SDS dışındaki diğer tüm bileşenler SDS farkını gözlemleyebilmek için sabit tutulmuştur.

Tablo 1. Farklı SDS konsantrasyonundaki çözeltilerin SDS miktarları

Çözelti	TiN Miktarı (g/L)	SDS Miktarı (g/L)
1	1 g/L	0,025 g/L
2	1 g/L	0,100 g/L
3	1 g/L	0,200 g/L

Kaplamalarda elektrobiriktirme metotlarından biri olan kesikli akım yöntemi tercih edilmiştir. Banyo sıcaklıkları 70 °C, karıştırma hızı 200 rpm, kaplama süresi 60 dakikadır. Diğer kaplama parametreleri ise Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Kaplama parametreleri

Parametre	Değer
Süre	60 dk
Karıştırma Hızı	200 rpm
Sıcaklık	70 °C
Akım Yoğunluğu	1 A/dm ²

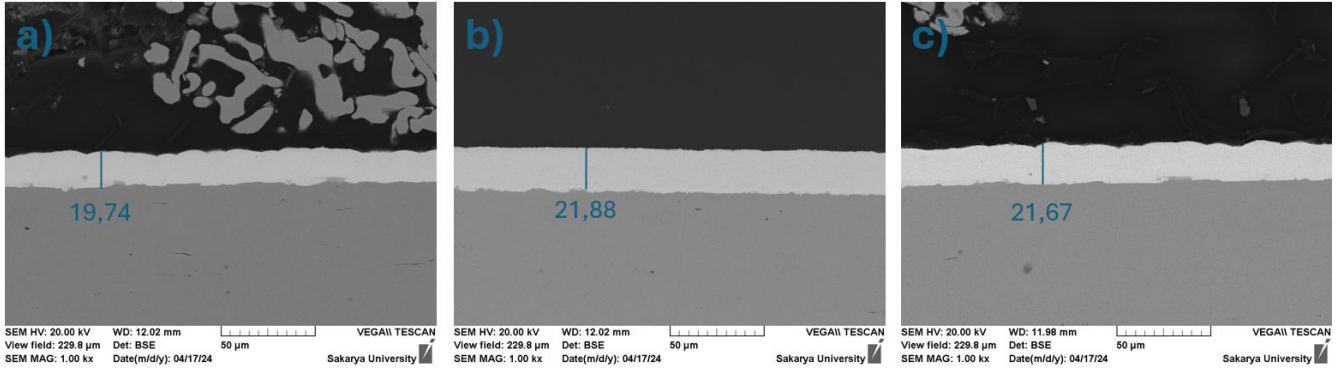
Kaplama süreci boyunca işlem parametreleri titizlikle kontrol edilmiş, özellikle banyo sıcaklığının sabit kalması sağlanmıştır. Ayrıca kaplama esnasında çözelti içerisinde yer alan altlık yüzeylerinin konumları sabit tutulmuş ve düz bir şekilde durmaları sağlanarak homojen bir kaplama oluşumu hedeflenmiştir. Kaplama işlemi tamamlandıktan sonra yüzeyler banyodan çıkarılarak hızlı bir şekilde durulanmış ve kurutma işlemine tabi tutulmuştur.

Kaplamaların yüzey morfolojisi ve kesit görüntülerini elde etmek için taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. Kristal yapı analizleri ise X-ışını difraktometresi (XRD) ile gerçekleştirilmiştir. Kaplamaların aşınma davranışını incelemek amacıyla **Ball-on-Disc** yöntemi uygulanmıştır. Bu testler oda sıcaklığında, kuru ortamda, 10 mm çapında çelik bilye kullanılarak gerçekleştirilmiş; kaplamalar 2 N yük altında, 25 cm/s kayma hızında ve toplam 500 m kayma mesafesi boyunca test edilmiştir.

Kaplamaların sertlik ölçümleri; yüzeyler önceden kesilerek bakalitlenip zımparalama ve parlatma işlemlerinden geçirildikten sonra Vickers mikrosertlik cihazı ile ölçülmüştür. Sertlik ölçümleri 50 gram yük, 15 saniye boyunca uygulanarak yapılmıştır. Ayrıca, kaplama banyolarından alınan çözelti numuneleri kullanılarak zeta potansiyel ölçümleri yapılmış ve partikül dispersiyon kararlılığı değerlendirilmiştir.

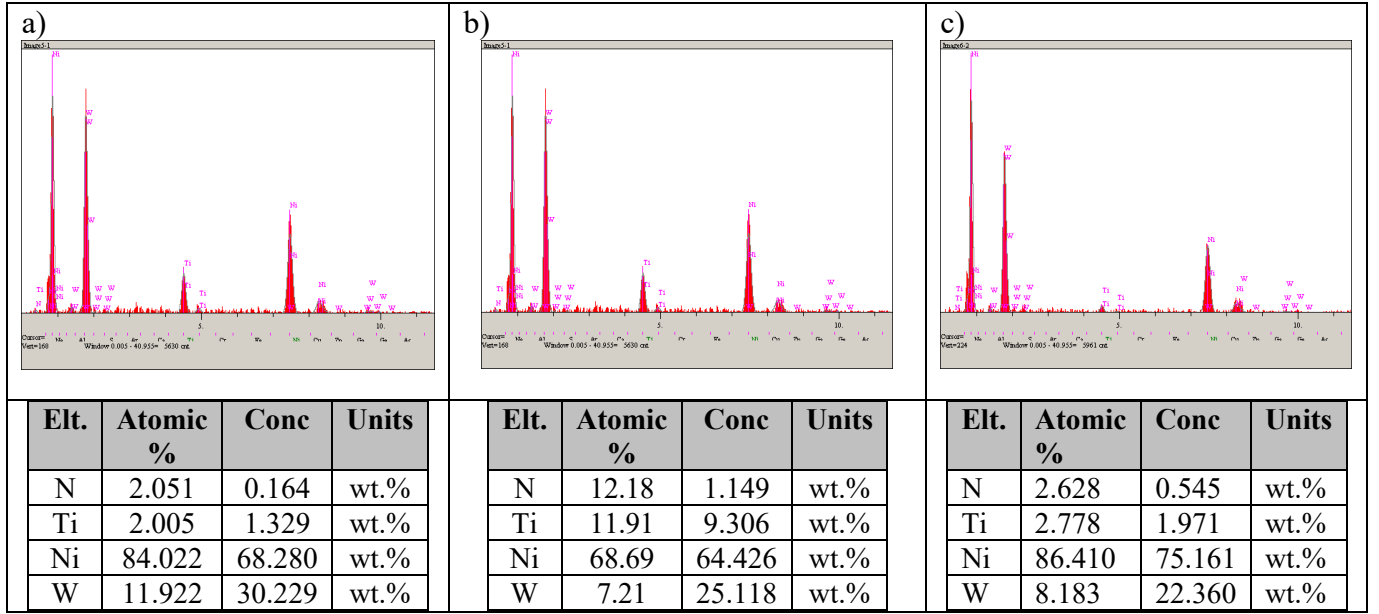
III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Şekil 1’de farklı SDS konsantrasyonlarındaki kaplamaların kesit SEM görüntüleri verilmiştir. Oluşan kaplama kalınlıklarına bakıldığında 0,100g/L ve 0,200g/L SDS içeren çözeltilerde gerçekleştirilen kaplamanın 0,025g/L SDS içeren çözeltide gerçekleşen kaplamaya göre bir miktar daha yüksek oldukları görülmektedir. Kaplamaların yüzeylerine dikkat edildiğinde ise 0,100g/L çözeltide hazırlanan kaplamanın diğer kaplamalara göre çok daha homojen dağılmış, uniform bir yüzey sergilediği dikkat çekmektedir.



Şekil 1. Farklı SDS konsantrasyonlarındaki kaplama kesitlerinin SEM görüntüleri: a) 0,025g/L, b) 0,100g/L, c) 0,200g/L.

Şekil 2’de farklı SDS konsantrasyonlarında üretilmiş kaplamaların EDS analizleri verilmiştir. Analizlere bakıldığında her birinde TiN gözükse de SDS konsantrasyonu 0.100 g/L olarak hazırlanmış numunedeki TiN oranı diğer konsantrasyonlara göre çok daha fazladır.

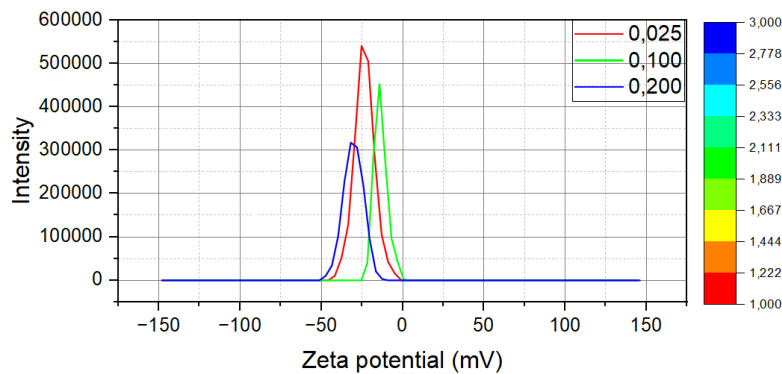


Şekil 2. Farklı SDS konsantrasyonlarında üretilmiş kaplamaların EDS analizleri: a) 0,025g/L, b) 0,100g/L c) 0,200g/L.

Farklı SDS konsantrasyonlarında üretilmiş yüzey kaplamalarının çözeltisinden alınarak ölçülen zeta potansiyel değerleri Tablo 3’de verilmiştir. 0,025g/L SDS içeren çözeltide hazırlanan numunenin zeta potansiyeli diğerlerine göre daha yüksek gelmiştir. Bu tür kaplamalarda ideal değer -30 mV yakınlarında olmasını istenildiğinden diğer 0,100g/L ve 0,200g/L SDS ile hazırlanan çözeltilerdeki tanecikler arası itme veya çekme değerinin daha iyi olduğu gözükmemektedir.

Tablo 3. Farklı SDS konsantrasyonlarında üretilmiş kaplamaların zeta potansiyeli değerleri.

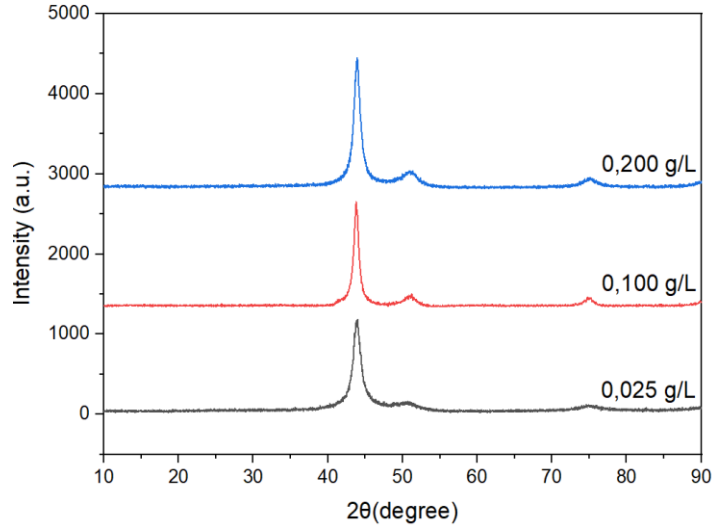
SDS Miktarı (g/L)	Zeta Potansiyeli (mV)
0,025 g/L	-14,18
0,100 g/L	-28,23
0,200 g/L	-36,87



Şekil 3. Farklı SDS konsantrasyonlarında üretilmiş kaplamaların zeta potansiyeli.

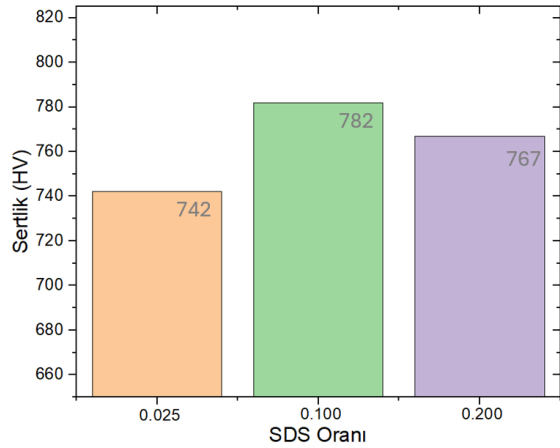
Farklı SDS konsantrasyonlarındaki çözeltilerde gerçekleştirilen Ni-W esaslı kaplamaların XRD analizleri Şekil 4’de verilmiştir. Şekil 4’e bakıldığında oluşturulan tüm kaplamaların yüzey merkezli yapıya sahip olduğu görülmektedir. 2θ ya karşılık gelen 44°, 52° ve 76° pikleri nikelin (111), (200) ve (220) düzlemlerine ait piklerdir[8]. TiN partiküllerin ağırlıkça oranının %5’in altında olması XRD analizinde piklerinin tespit edilememesine yol açmaktadır. Bu değer altındaki pikler gürültü içerisinde

algılanamayacak kadar zayıf olabilmekte, gürültü içerisinde kaybolabilmekte veya diğer baskın pikler ile örtüşebilmektedir[2].



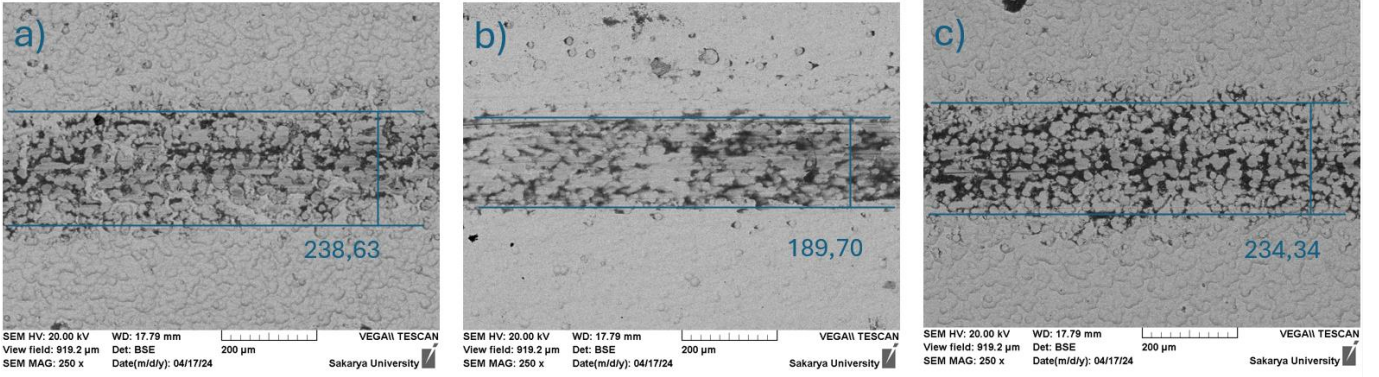
Şekil 4. Farklı SDS konsantrasyonlarında üretilmiş kaplamaların XRD spektrumları.

Şekil 5’te farklı SDS konsantrasyonlarında üretilmiş kaplamaların sertlik değerleri grafik halinde verilmiştir. Burada 0,100 SDS konsantrasyonunda oluşturulan kaplamanın diğerlerine göre daha yüksek sertlik gösterdiği gözükmemektedir. Bu konsantrasyondaki sertliğin yüksek olma sebebi TiN partiküllerin yüzeye çok daha iyi şekilde nüfuz etmesi ve kaplanmasıdır[9]. SDS konsantrasyonu arttığında ise sertliğin bir miktar düştüğü gözlemlenmiştir. Kaplamalar arasında en düşük sertlik değerine ise 0,025 SDS konsantrasyonunda oluşturulan kaplamada ulaşılmıştır.

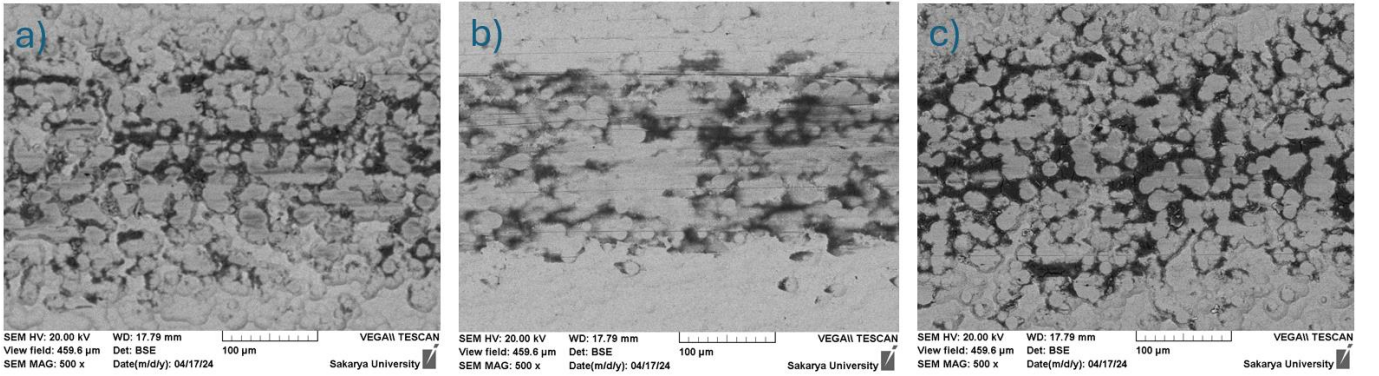


Şekil 5. Farklı SDS konsantrasyonlarında üretilmiş kaplamaların sertlik değerleri.

Şekil 6 ve Şekil 7’de farklı SDS konsantrasyonlarında üretilmiş kaplamaların yüzeylerindeki aşınma izlerinin SEM görüntüleri verilmiştir. Şekil 6 ve Şekil 7’ye bakıldığında 0,100g/L SDS ile hazırlanan kaplama numunesinin aşınma izinin yaklaşık 189,7µm olduğu ve diğerlerine göre daha dar bir alana yayıldığı görülmektedir. Aşınma izi en geniş numune ise 238,6µm ile 0,025g/L SDS ile hazırlanmış olan numunedir.

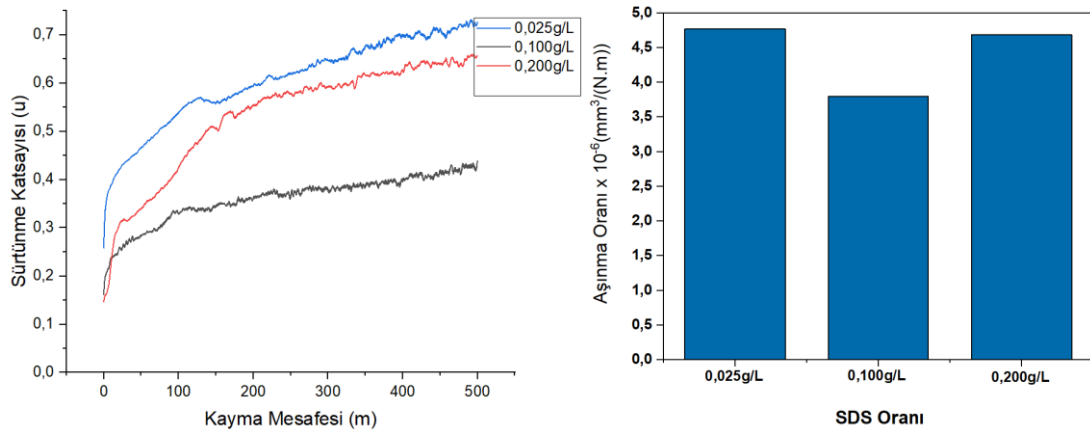


Şekil 6. Farklı SDS konsantrasyonlarında üretilmiş kaplama yüzeylerindeki aşınma izlerinin SEM görüntüleri: a) 0,025 g/L, b) 0,100 g/L ve c) 0,200 g/L.



Şekil 7. Farklı SDS konsantrasyonlarında üretilmiş kaplama yüzeylerindeki aşınma izlerinin SEM görüntüleri: a) 0,025 g/L, b) 0,100 g/L ve c) 0,200 g/L.

Şekil 8’de Farklı SDS konsantrasyonlarında üretilmiş kaplamaların sürtünme katsayısı ve aşınma oranları grafikleri verilmiştir. Grafiklerde de görüldüğü üzere en düşük sürtünme katsayısı 0,100g/L SDS konsantrasyonundaki yüzey kaplamasına aittir. Ayrıca bu kaplamanın grafiğine baktığımızda diğerlerinden daha stabil bir yol izlediği de görülmektedir. Diğer konsantrasyonlardaki kaplamaların grafikleri daha dengesiz ve kararsız olduğu görülmüştür. Aşınma oranı grafiğine baktığımızda da aynı şekilde 0,100g/L SDS konsantrasyonuna sahip kaplamanın daha az oranda aşındığı, daha fazla aşınma direnci gösterdiği görülmektedir. Optimal SDS oranıyla birlikte TiN partiküllerdeki artış kaplama sertliğini arttırdığı gibi aşınma anında da ortaya çıkan deformasyona karşı bir direnç gösterebilmektedir[9].



Şekil 8. Farklı SDS konsantrasyonlarında üretilmiş kaplamaların sürtünme katsayısı ve aşınma oranları grafikleri.

IV. SONUÇLAR

Bu çalışmada farklı sodyum dodesil sülfat (SDS) konsantrasyonlarının Ni-W esaslı TiN partikül takviyeli kompozit kaplamalar üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Elektrobiriktirme yöntemiyle elde edilen kaplamalar, sertlik, aşınma direnci ve yüzey özellikleri açısından değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular SDS konsantrasyonunun kaplamalar üzerindeki etkisini göstermiştir[10].

SEM ‘de alınan görüntülere bakıldığında 0,100 g/L SDS konsantrasyonunda elde edilen kaplamanın daha homojen, düzgün ve uniform bir yüzey yapısı oluşturduğu görülmüştür. Yine bu konsantrasyonda kaplama kalınlığı da iyi bir seviyede çıkmıştır. Zeta potansiyeli ölçümleri 0,100 g/L ve 0,200 g/L SDS konsantrasyonlarındaki kaplamaların -30mV seviyesine yakın değerlere sahip olduğunu ve bu sayede daha stabil bir dispersiyon sağladığını göstermiştir. XRD analizleri tüm kaplamaların yüzey merkezli kübik yapıda olduğunu ve nikelin (111), (200) ve (220) düzlemlerine ait pikler gösterdiğini ortaya koymuştur[11].

Sertlik testleri 0,100 g/L SDS konsantrasyonundaki kaplamanın en yüksek sertliğe sahip olduğunu göstermiş, SDS oranı arttıkça da sertlik değerlerinde düşmeler gözlemlenmiştir. Aşınma testleri sonucunda da 0,100 g/L SDS konsantrasyonundaki kaplamalarda daha dar bir alana yayılan aşınma izi ve daha düşük aşınma oranı tespit edilmiştir. Sürtünme dayanımı açısından bakıldığında yine bu konsantrasyonun en düşük ve kararlı davranış sergilediği görülmüştür. Değerlere bakıldığında 0,100g/L SDS konsantrasyonunun TiN takviyeli Ni-W esaslı kaplamalar için en uygun oran olduğu, yüzey morfolojisi, mekanik dayanım ve aşınma direnci açısından optimum performans gösterdiği söylenebilir.

Sonuç olarak, 0,100 g/L SDS konsantrasyonunun, bu çalışmadaki Ni-W-TiN kaplamalar için en doğru SDS konsantrasyonu olduğu, kaplamaların yüzey morfolojisi, sertlik, aşınma direnci ve sürtünme davranışı açısından daha dengeli ve başarılı sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Bu bulgular, elektrobiriktirme ile kaplama uygulamalarında uygun yüzey aktif madde konsantrasyonunun önemini vurgulamaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] G. Topal, B. Esencal Türkaslan, “Akımsız Kaplama Yöntemiyle Nikel Esaslı Metalik Kaplamaların Üretimi,” Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 2023, 11(3), 1001-1008.
- [2] E. Duru, A. Öztürk, M. Uysal, H. Akbulut, S. Aslan, “Ni-BW Kaplamalarında W Konsantrasyonunun Sertlik ve Aşınma Özelliklerine Etkisi,” Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 2022, (34), 610-616.
- [3] Steffani, C., & Meltzer, M. (1995). Electrodeposited tungsten-nickel-boron: A replacement for hexavalent chromium. U.S. Department of Energy. <https://www.osti.gov/servlets/purl/72974>
- [4] Giurlani, W., Zangari, G., Gambinossi, F., Passaponti, M., Salvietti, E., Di Benedetto, F., Caporali, S., & Innocenti, M. (2018). Electroplating for decorative applications: Recent trends in research and development. *Coatings*, 8(8), 1–25. <https://doi.org/10.3390/coatings8080260>
- [5] Uyanık, G., Fizikokimya, Karadeniz Teknik Üniversitesi Basımevi (1992).
- [6] Sriraman, K. R., Ganesh Sundara Raman, S., & Seshadri, S. K. (2007). Corrosion behaviour of electrodeposited nanocrystalline Ni-W and Ni-Fe-W alloys. *Materials Science and Engineering A*, 460–461, 39–45.
- [7] Sinanoğlu, E. (1998). Bisküvi üretiminde kullanılan katkı maddeleri (Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü). İstanbul, Türkiye.
- [8] Aslan, S., & Duru, E. (2022). Microstructure and wear properties of electrodeposited Ni-B-Al₂O₃ composite coating on low carbon steel at elevated temperature. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 31(3), 1693–1704. <https://doi.org/10.1007/s11665-021-06290-2>
- [9] Aslan, S., & Duru, E. (2021). Akımsız Ni-P-W kompozit kaplamalarda PTFE konsantrasyonunun sertlik ve aşınma üzerinde etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi (European Journal of Science and Technology)*, Özel Sayı 28, 1356–1359. <https://doi.org/10.31590/ejosat.1016986>
- [10] Duru, E., Doğan, F., Uysal, M., Akbulut, H., & Aslan, S. (2021). Optimization of Ni-B coating bath and effect of DMAB concentration on hardness and wear [Surfaces and Interfaces, 22, article 100880]. *Surfaces and Interfaces*, 22, Article 100880. <https://doi.org/10.1016/j.surf.2020.100880>
- [11] Doğan, F., Uysal, M., Algül, H., Duru, E., Akbulut, H., & Aslan, S. (2020). Optimization of pulsed electro co-deposition for Ni-B-TiN composites and the variation of tribological and corrosion behaviors. *Surface and Coatings Technology*, 400, Article 126209. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2020.126209>

Deep Learning Approach for Disease Detection in Canine

Yasin AKMAN^{1*}, Şakir TAŞDEMİR² and Nuriza ZAMİRBEKOVA ERDOĞAN³

¹Computer Engineering Department, Selcuk University, Konya, Turkey

²Computer Engineering Department, Selcuk University, Konya, Turkey

³Faculty of Veterinary Medicine, Selcuk University, Konya, Turkey

*(yasinakman@gmail.com) Email of the corresponding author

Abstract – Canine Hip Dysplasia (CHD) is a common orthopedic disorder that severely impairs the quality of life of the animal. Its diagnosis by radiographic evaluation presents standardization challenges due to its susceptibility to inter-rater variability. This study aims to develop and validate a robust deep learning based system for objective classification of CHD from pelvic X-ray images. Each image was labeled by an expert veterinarian according to the Fédération Cynologique Internationale (FCI) scoring system. These scores were combined into two classes, ‘No Dysplasia’ (AB) and ‘Dysplasia Present’ (CDE). To avoid data leakage and to provide an unbiased performance evaluation, 20% of the data was used as a separate test set. As a result of the comparative analysis of different Convolutional Neural Network (CNN) architectures, the DenseNet201 model outperformed the other architectures with a test accuracy of 83.44%, Cohen's Kappa score of 0.7118, ROC AUC of 0.9268, and weighted F1 score of 0.8573. These findings suggest that the DenseNet201 architecture can be integrated into veterinarians' clinical workflows as a decision support tool with high potential for rapid and objective screening of CHD.

Keywords – Canine Hip Dysplasia, Deep Learning, Convolutional Neural Network, FCI Scoring, Veterinary Radiology.

I. INTRODUCTION

Canine Hip Dysplasia (CHD) is a common and painful inherited orthopedic condition that affects a significant proportion of the canine population, especially medium and large breeds [1, 2]. The disease is characterized by abnormal development of the hip joint, which leads to laxity and instability of the joint and, over time, to the development of progressive and debilitating osteoarthritis. Clinical signs such as difficulty standing up and “bunny hops” when running can significantly reduce the dog's quality of life and may require long-term medical treatment or costly surgical interventions [2, 3]. The standard approach to diagnosing CHD is to combine physical examination findings with radiographic imaging [2, 4]. Various scoring systems exist worldwide, such as the Orthopedic Foundation for Animals (OFA) in the USA, the British Veterinary Association/Kennel Club (BVA/KC) in the UK and the Fédération Cynologique Internationale (FCI) system widely used in Europe [5, 6]. Although these traditional methods are essential diagnostic tools, they have significant limitations, the most important of which are inter-rater and intra-rater variability at different times [5, 7]. The FCI system used in this study categorizes hips into five classes (A-E) [6]. In recent years, artificial intelligence (AI), particularly deep learning (DL) and Convolutional Neural Networks (CNN), has emerged as a transformative technology in medical imaging [8]. The application of deep learning in veterinary medicine is a rapidly growing field and numerous studies have shown success in analyzing radiographs [8, 9]. Recent studies have begun to explore deep learning specifically for CHD diagnosis, aiming to automate the measurement of radiographic indices or directly classify degrees of dysplasia, showing promising results in improving objectivity and efficiency [7, 9, 10, 11].

II. MATERIALS AND METHOD

The dataset consists of a total of 812 radiographic images of the hip joint for the detection of hip dysplasia in dogs. The five FCI scores have been combined into two main categories:

- Grade AB (No Hip Dysplasia): Combines the FCI A and B ratings.
- Class CDE (Hip Dysplasia Present): Combines FCI grades C, D and E.

This unification simplifies the complex grading system. This approach is a common first step when developing computer-aided diagnostic systems. As a result of this simplification, the model can answer the question “is dysplasia present?” but not “what is the severity of dysplasia?”. While this is recognized as a limitation of the study, it provides a clear roadmap for future multi-class and sequential classification studies.

A. Data Segmentation and Methodological Rigor

To ensure a robust and unbiased model evaluation, the full dataset of 812 images was initially divided into two main, non-overlapping parts:

- Development Set (80%): Consists of 649 images. This set was used for training and validation of the models.
- Hold-Out Test Set (20%): Consists of 163 images. This set was kept strictly separate and was not used in any of the model training or validation phases.

The final image counts for each set and class are as follows:

- Training and Validation: 357 images in Class AB and 292 images in Class CDE.
- Separated Test Set: 89 images in Class AB and 74 images in Class CDE.

This partitioning strategy is a cornerstone of our methodology. By isolating the Segregated Test Set from the very beginning, we prevent any kind of data leakage. This is a critical point to be aware of.

B. Deep Learning Models and Training Protocol

In order to determine the most effective DenseNet model for this task, the variants DenseNet121, DenseNet169, DenseNet201 were evaluated. The models were implemented using a transfer learning approach. The networks were initialized with pre-trained weights on the large-scale ImageNet dataset and then fine-tuned on our custom CHD dataset.

C. Performance Evaluation Metrics

Model performance was evaluated on the disaggregated test set using comprehensive performance evaluation metrics to provide a holistic view of diagnostic capability.

- Accuracy: The ratio of correctly classified samples to total samples.

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}$$

- Precision: Indicates how many of the samples predicted as positive are actually positive.

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP}$$

- Sensitivity (Recall / Sensitivity): Indicates how many true positive samples are correctly predicted as positive.

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN}$$

- F1-Score: The harmonic mean of precision and sensitivity.

$$F1 - Score = 2 \times \frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall}$$

- ROC AUC (Area Under the Receiver Operating Characteristic Curve): Measures the ability of the model to discriminate between two classes at all possible thresholds. A value of 1.0 represents a perfect classifier.

- Cohen's Kappa (κ): Measures the agreement between the model's predictions and expert labels, excluding the chance factor [12, 13, 14]. It is a more reliable measure than accuracy in medical diagnosis and in cases of class imbalance.

$$\kappa = \frac{Po - Pe}{1 - Pe}$$

Here Po is the observed fit (accuracy) and Pe is the expected fit by chance. A Kappa value of 1 indicates perfect agreement, 0 indicates agreement equivalent to chance and negative values indicate agreement worse than chance.

III. RESULTS

The performance of DenseNet models was rigorously evaluated on a previously unseen segregated test set of 163 hip radiographs (89 AB, 74 CDE). The Cohen's Kappa score indicates the most robust classification agreement measure corrected for chance. The models are therefore ranked in descending order of Cohen's Kappa score (see Table 1). The comprehensive results are presented in Table 2. It provides a multifaceted view of performance, including not only a single metric such as accuracy, but also metrics sensitive to class imbalance (Cohen's Kappa, F1 Score). This level of detail is critical for reproducibility and enables other researchers to understand differences between models.

Table 1. Comparison of Cohen's Kappa Scores of the Models on the Separated Test Set.

Model Name	Cohen Kappa
DenseNet201	0.7118
DenseNet121	0.6366
DenseNet169	0.4899

DenseNet201 achieved a higher compliance score than all other architectures.

Table 2. Performance of Deep Learning Models on a Segregated Test Set

Model Name	Test Accuracy	Cohen's Kappa	ROC AUC Macro	F1 Score Weighted	Precision Weighted	Recall Weighted	F1 Score AB	F1 Score CDE
DenseNet201	0.8344	0.7118	0.9268	0.8573	0.8639	0.8589	0.8783	0.8321
DenseNet121	0.8037	0.6366	0.8753	0.8201	0.8259	0.8221	0.8466	0.7883
DenseNet169	0.7607	0.4899	0.8196	0.7441	0.7771	0.7546	0.8039	0.6721

DenseNet201 is the best performing model, consistently scoring the highest in all reported metrics. DenseNet121 is the second best performer. A notable and unexpected finding is the significant underperformance of DenseNet169, which scores lower in every metric than the less complex DenseNet121.

Power of Discrimination (ROC AUC): Roc Auc Macro scores indicate how well the models can separate classes. DenseNet201's score of 0.9268 indicates that the model is very likely to rank a randomly selected positive sample higher than a randomly selected negative sample. This indicates an excellent class separation ability when averaged across all classes. The use of macro averaging ensures that this result holds even for potentially rare classes. The scores obtained by DenseNet121 (0.8753) and DenseNet169 (0.8196) are also respectable, but clearly lower.

Prediction Reliability (Cohen's Kappa): Cohen's Kappa scores reflect the reliability of predictions after correcting for chance. DenseNet201's score of 0.7118 represents a "substantial" level of agreement with the actual labels. This confirms that its high accuracy is not just a product of chance or class imbalance. The drop to 0.6366 ("substantial") for DenseNet121 and a more pronounced drop to 0.4899 ("moderate") for DenseNet169 emphasize the decreasing reliability in the predictions of less complex models.

The presence of the metrics "F1 Score AB" and "F1 Score CDE" encourages a segmented analysis of the dataset. These metrics provide an opportunity to understand how the models respond to groups of classes of different difficulty levels. It can be assumed that classes 'A' and 'B' represent an 'easier' task, while classes 'C', 'D' and 'E' represent a more 'difficult' task.

Group AB Analysis: All models perform relatively well in this subset. The F1 scores are 0.8783 (DenseNet201), 0.8466 (DenseNet121) and 0.8039 (DenseNet169). The difference in performance between the models is present but less pronounced in this group.

Group CDE Analysis: This group is where the performance differences are most pronounced. DenseNet201 maintains a strong F1 score of 0.8321, while DenseNet121's performance drops more significantly to 0.7883. The performance of DenseNet169 drops dramatically to 0.6721. This suggests that the architectural advantages of DenseNet201 are most critical for accurately classifying the more challenging CDE class group. It is noteworthy that the performance degradation is not homogeneous across models. While the F1-score drop from the AB group to the CDE group for DenseNet201 is $(0.8783 - 0.8321) = 0.0462$, this drop is $(0.8039 - 0.6721) = 0.1318$ for DenseNet169. This shows that the deeper model is not

only better overall, but also disproportionately better at the more difficult parts of the problem. The architectural complexity provides a robustness that the other models lack.

IV. DISCUSSION

This study successfully developed and validated DenseNet201, a deep learning model for the classification of canine hip dysplasia from radiographs. It achieved a high level of diagnostic performance on an unprecedented test set. The model's Cohen's Kappa score of 0.7118 indicates a significantly close agreement with the expert veterinarian. It also shows its potential as a reliable diagnostic aid.

Our results are consistent with the growing evidence supporting the use of deep learning in veterinary radiology [8]. Previous studies on automatic CHD classification have reported varying accuracies, often depending on dataset size and classification schemes [10, 7]. Our reported accuracy of 83.44% and AUC of 0.9268 is highly competitive and supported by our rigorous hold-out validation methodology, which provides a high degree of confidence in the results.

The approach of using AI to automate measurements and classification in hip dysplasia mirrors trends in human medicine for Developmental Dysplasia of the Hip (DDH). In human medicine, AI has been shown to outperform moderately experienced clinicians and reduce measurement variability [15, 16, 17]. This cross-species parallel strengthens the rationale and potential impact of our study.

Successful implementation of this model has important clinical implications. It can serve as a powerful decision support tool for veterinarians, providing a quick, objective and consistent “second opinion”.

A limitation of the simplification of the five-class FCI score into a binary classification is the loss of granular information on disease severity.

We plan to address this limitation in future studies. An immediate next step is to develop a multi-class classification model that can predict the full range of FCI grades (A to E), which will provide more detailed diagnostic information. In addition, the use of explainable artificial intelligence (XAI) techniques such as Gradient Weighted Class Activation Mapping (Grad-CAM) will be invaluable. These methods can produce heat maps that highlight specific radiographic regions that the model focuses on for its predictions [18]. This could help build trust with veterinarians by making the model's “black box” decision-making process more transparent. It may even reveal new radiographic markers for CHD.

V. CONCLUSION

This study demonstrates that deep learning, and in particular the DenseNet201 architecture, offers a powerful solution for objective and reliable detection of canine hip dysplasia from pelvic radiographs. The developed model achieved a good level of agreement with the expert evaluation. This highlights the potential of the model to be integrated into clinical and research settings. By providing a consistent screening tool, this technology can improve the diagnostic capabilities of veterinarians, support more effective breeding programs and ultimately contribute to improving the welfare of dogs affected by this disease.

ACKNOWLEDGMENT

We would like to thank Prof. Dr. Mustafa ARICAN, Prof. Dr. Fahrettin ALKAN, Prof. Dr. Seyfullah HALILOĞLU, Prof. Dr. Mustafa Orhun DAYAN and Assoc. Prof. Dr. Kurtuluş PARLAK for their support to our study.

REFERENCES

- [1] Loder, R. T., & Todhunter, R. J. (2017). The demographics of canine hip dysplasia in the United States and Canada. *Journal of veterinary medicine*, 2017(1), 5723476.
- [2] Peterson, C. (2017). Canine hip dysplasia: Pathogenesis, phenotypic scoring, and genetics. *Duluth Journal of Undergraduate Biology*, 4, 19-27.
- [3] Lande, A., Lawn, R., & Martin, S. (2025). Centronuclear myopathy in a Labrador Retriever presenting for evaluation of a 'bunny-hopping' gait. *Veterinary Record Case Reports*, e70108.
- [4] Lyubchenko, E., Bondarenko, I., & Timofeeva, T. (2021). Methods of diagnosis of hip dysplasia in dogs. In *BIO Web of Conferences* (Vol. 37, p. 00043). EDP Sciences.
- [5] Verhoeven, G., Coopman, F., Duchateau, L., Saunders, J. H., Van Rijssen, B., & Van Bree, H. (2007). Interobserver agreement in the diagnosis of canine hip dysplasia using the standard ventrodorsal hip-extended radiographic method. *Journal of Small Animal Practice*, 48(7), 387-393.
- [6] Flückiger, M. (2007). Scoring radiographs for canine hip dysplasia-The big three organisations in the world. *European Journal of Companion Animal Practice*, 17(2), 135-140.
- [7] Loureiro, C., Gonçalves, L., Leite, P., Franco-Gonçalo, P., Pereira, A. I., Colaço, B., ... & Filipe, V. (2024). Deep learning-based automated assessment of canine hip dysplasia. *Multimedia Tools and Applications*, 1-17.
- [8] Xiao, S., Dhand, N. K., Wang, Z., Hu, K., Thomson, P. C., House, J. K., & Khatkar, M. S. (2025). Review of applications of deep learning in veterinary diagnostics and animal health. *Frontiers in Veterinary Science*, 12, 1511522.
- [9] Boufenar, C., Logovi, T. E. M. N., Samir, D., & Lassakeur, I. E. (2024). Computer-aided diagnosis of Canine Hip Dysplasia using deep learning approach in a novel X-ray image dataset. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering: Imaging & Visualization*, 11(7), 2274947.
- [10] Gomes, D. A., Alves-Pimenta, M. S., Ginja, M., & Filipe, V. (2021, July). Predicting canine hip dysplasia in X-ray images using deep learning. In *International Conference on Optimization, Learning Algorithms and Applications* (pp. 393-400). Cham: Springer International Publishing.
- [11] Franco-Gonçalo, P., Leite, P., Alves-Pimenta, S., Colaço, B., Gonçalves, L., Filipe, V., ... & Ginja, M. (2025). A Computer-Aided Approach to Canine Hip Dysplasia Assessment: Measuring Femoral Head–Acetabulum Distance with Deep Learning. *Applied Sciences*, 15(9), 5087.
- [12] Tan, M., & Le, Q. (2019, May). Efficientnet: Rethinking model scaling for convolutional neural networks. In *International conference on machine learning* (pp. 6105-6114). PMLR.
- [13] McHugh, M. L. (2012). Interrater reliability: the kappa statistic. *Biochemia medica*, 22(3), 276-282.
- [14] Viera, A. J., & Garrett, J. M. (2005). Understanding interobserver agreement: the kappa statistic. *Fam med*, 37(5), 360-363.
- [15] Magnéli, M., Borjali, A., Takahashi, E., Axenhus, M., Malchau, H., Moratoglu, O. K., & Varadarajan, K. M. (2024). Application of deep learning for automated diagnosis and classification of hip dysplasia on plain radiographs. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 25(1), 117.
- [16] Li, R., Wang, X., Li, T., Zhang, B., Liu, X., Li, W., & Sui, Q. (2024). Deep learning-based automated measurement of hip key angles and auxiliary diagnosis of developmental dysplasia of the hip. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 25(1), 906.
- [17] Chen, M., Cai, R., Zhang, A., Chi, X., & Qian, J. (2024). The diagnostic value of artificial intelligence-assisted imaging for developmental dysplasia of the hip: a systematic review and meta-analysis. *Journal of orthopaedic surgery and research*, 19(1), 522.
- [18] Selvaraju, R. R., Cogswell, M., Das, A., Vedantam, R., Parikh, D., & Batra, D. (2017). Grad-cam: Visual explanations from deep networks via gradient-based localization. In *Proceedings of the IEEE international conference on computer vision* (pp. 618-626).

Eğitim Hakkı ve Ayrımcılık: Uluslararası Hukuk Çerçevesinde Bir İnceleme

Merve Turpçu^{1*} ve Murat Turpçu²

¹Büro Hizmetleri ve Sekreterlik / Sosyal Bilimler MYO, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Türkiye

²Siyaset Bilimi ve Uluslararası İlişkiler/ Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Türkiye

*(merve.turpcu@ahievran.edu.tr)

Özet – Bu araştırma, eğitim hakkının uluslararası insan hakları belgeleri bağlamında normatif temellerini incelemekte olup eğitim hakkı ile ayrımcılık yasağı arasındaki ilişkiyi ortaya koymayı amaçlamaktadır. Temel bir insan hakkı olarak Eğitim hakkı, kişisel gelişimi, toplumsal içermeyi ve fırsat eşitliğini ön plana çıkarmaktadır. Bu hak Birleşmiş Milletler İnsan Hakları Evrensel Bildirgesi, Ekonomik, Sosyal ve Kültürel Haklara İlişkin Sözleşme ve Çocuk Hakları Sözleşmesi olmak üzere birçok uluslararası belgede açık biçimde düzenlenmektedir. Devletlere önemli yükümlülükler getiren bu hak, ulaşılabilir olma, fırsat eşitliği ve uyarlanabilir olma konularında çaba sarf edilmesini gerektirmektedir. Araştırmada, ayrımcılık yasağının eğitime ulaşabilme üzerindeki etkisi özellikle etnik köken, toplumsal cinsiyet, engellilik ve göçmenlik gibi faktörler üzerinden ele alınmıştır. Doküman analizi yöntemiyle yürütülen bu çalışmada, uluslararası sözleşmelerde yer alan düzenlemeler yorumlayıcı bir yaklaşımla incelenmiş ve uygulamada yaşanan zorluklar değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, hukuki normların uygulamada yetersiz kaldığını ve eşitlikçi, kapsayıcı bir eğitim politikası için pozitif ayrımcılık önlemlerinin ve sürekli denetimin gerekli olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak, eğitim hakkının etkili biçimde hayata geçirilebilmesi için yalnızca normların varlığı değil, bu normların adil ve sürdürülebilir şekilde uygulanması da büyük önem taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler – Eğitim Hakkı, Ayrımcılık, Uluslararası Hukuk, Nitel Araştırma, Doküman Analizi.

I. GİRİŞ

Bireyin kendini gerçekleştirme ve ardından topluma etkin bir şekilde katılabilmesi eğitim hakkının tanınması ve kullanılmasıyla doğrudan ilgilidir. Dünyadaki gelişmelerle birlikte insan haklarına yönelik olumlu düşünceler eğitim hakkının da tüm bireylerin sahip olması zorunlu bir hak olarak düşünülmesini gerektirmiştir. İlk defa 1948 tarihli Birleşmiş Milletler İnsan Hakları Evrensel Bildirgesi'nde (md. 26) temel bir hak olarak tanımlanan hak, daha sonra UNESCO'nun 1960 tarihli Ayrımcılığın Önlenmesi Sözleşmesi'nde, ardından da 1966 tarihli Ekonomik, Sosyal ve Kültürel Haklar Sözleşmesi (International Covenant on Economic, Social and Cultural Rights [ESKHUS] (md. 13-14) ile 1989 tarihli Çocuk Hakları Sözleşmesi (md. 28-29) kapsamında ele alınmıştır (Birleşmiş Milletler [BM], 1948; Birleşmiş Milletler İnsan Hakları Yüksek Komiserliği [OHCHR], 1989; UNESCO, 1960; 1966). Bu belgelerde eğitim hakkının devletlerinin tüm vatandaşları için tanınması, temel eğitimin zorunlu ve ücretsiz olması, ortaöğretim kademesinde eğitimin çeşitlendirilmesi, yükseköğretimin ise fırsat ve imkanlar dahilinde tüm vatandaşlara açık olması gibi çeşitli hükümlerin yer aldığı görülmüştür (Demirtaş, 2019). Bu belgeler, eğitimde katılımcı, çoğulcu, eleştirel, kapsayıcı ve bireylerin kişiliğinin gelişimine uygun ortam sağlanmasını desteklerken; ayrımcılığı yasaklamaktadır. Nitekim eğitimde ayrımcılığın olmaması, eşit ve adaletli bir sistemin varlığı ile mümkündür. Bu da tüm bireylerin eğitime eşit olarak ulaşabilmesi ve eğitim süreçlerinin tamamında yer alması ve karar alma mekanizmalarında ayrımcı muamelelerin olmaması anlamına

gelmektedir (Akyeşilmen, 2014). Ancak tüm bu girişimlere rağmen günümüzde eğitim hakkından pek çok bireyin yoksun olduğu ve bu durumun ciddi bir sorun alanı olarak varlığını sürdürdüğü söylenebilir.

Eğitim hakkına ilişkin devletlerin temel yükümlülükleri bulunmaktadır. Bu yükümlülükler: erişilebilirlik (accessible), kabul edilebilirlik (acceptable), mevcudiyet (available) ve uyarlanabilirlik (adaptable) ilkeleri doğrultusunda eğitim hakkının gerçekleştirilmesini zorunlu hale getirmektedir (ESKHUS, md. 13). Ancak devletlerin bu yükümlülüklerini de yerine getirirken karşılaştığı yapısal ve uygulamaya yönelik sorunlar, zaman zaman bireylerin eğitim hakkının ihlal edilmesine neden olabilmektedir. Oysaki bireylerin bu temel haktan mahrum kalmamaları, yalnızca bireysel gelişimleri açısından değil, aynı zamanda toplumsal eşitlik ve kalkınma açısından da kritik öneme sahiptir. Bu sebeple devletlerin eğitim hakkını güvence altına alma sorumluluğu hem ulusal mevzuat hem de uluslararası sözleşmeler doğrultusunda açık bir şekilde tanımlanmış durumdadır.

Bu araştırmanın amacı, her birey için vazgeçilmez bir hak olarak ifade edilen eğitim hakkının, uluslararası hukuk belgelerindeki normatif çerçevesini inceleyerek bu hakkın kullanımında devletlerin üstlendikleri yükümlülüklerin açıklığa kavuşturulmasıdır. Ayrıca, eğitim hakkının ayrımcılık yasağıyla olan ilişkisi doğrultusunda bu hakkın herhangi bir ayırım gözetmeksizin tüm bireyler için erişilebilir olmasının gerekli olduğu vurgulanmıştır. Bu araştırma, nitel araştırma deseninde tasarlanmıştır. Bu kapsamda uluslararası belgeler nitel araştırma desenlerinden doküman analizi yöntemiyle incelenmiş ve bu belgelerde yer alan düzenlemeler yorumlayıcı paradigma çerçevesinde değerlendirilmiştir.

II. EĞİTİM HAKKI VE ULUSLARARASI HUKUKİ TEMELLERİ

A. Eğitim Hakkı Kavramı ve Uluslararası Belgelerde Eğitim Hakkı

Eğitim hakkı, kişilerin bireysel gelişimine, sosyalleşmesine katkıda bulunan, çevresini, olayları ve kişileri anlamasını ve anlamlandırmasını sağlayan temel insan haklarından biridir. Devletlerin katkısını zorunlu kılan sosyal bir hak olarak görülen eğitim hakkı, her bireyin doğuştan sahip olduğu ve devletlerce eşit olarak sunulmasının zorunlu olduğu bir hak olarak ifade edilmektedir (Algan & Algan, 2013; Gümüş, 2012). Bireylere eğitimde fırsat eşitliği sağlanması, bireylerin okula gitme özgürlüğüne sahip olması ve bu özgürlüğe zamanında ulaşabilmesi, okulda ayrımcı bir muameleye maruz kalmaması da eğitim hakkının kapsamındadır. Bu hakkın ulusal hukuklardan daha ziyade uluslararası hukuk tarafından düzenlenmesi evrensel anlamda hakkın objektif ve normatif anlamlar kazanmasına neden olmuştur. Devletler arasında sosyo-kültürel farklılıklardan dolayı ortaya çıkan farklı uygulamalar bu düzenlemeler sayesinde asgari müşterek konularda birbirine yakınlaşmaktadır.

Eğitim hakkına ilişkin düzenlenen ilk belge, 1948 tarihli Birleşmiş Milletler İnsan Hakları Evrensel Beyannamesidir (BM, 1948). Beyannamenin 26. Maddesinde eğitim hakkından bahsedilmektedir. Herkesin eğitim hakkına sahip olduğunu belirten madde, ilk ve temel eğitimin parasız olduğunu ve ilk öğretimin ise herkes için zorunlu olduğunu belirtir (26/1). Teknik ve mesleki eğitimin önemini vurgulayan hüküm, yükseköğrenim konusunda ise liyakata dayalı olarak herkesin eşit şekilde faydalanacağı da ortaya koymuştur. Eğitimin niteliklerinden bahseden beyannamenin ikinci fıkrası ise devlete birtakım yükümlülükler getirmektedir. Bireylerin kişiliğinin gelişmesi ve temel hak ve özgürlüklere saygı gösterilmesi ile insanlar arasındaki anlayış, hoşgörü ve dostluğun teşvik edilmesi nitelikli bir eğitim için aranan şartlar olarak belirtilmiştir (26/2). Ayrıca, çocukların alabilecekleri eğitimi seçme konusunda anne ve babalara da seçme hakkı tanınmıştır (26/3).

1950 yılında kabul edilen Avrupa İnsan Hakları Sözleşmesi'ne 1952 yılında 1. Protokol'ün 2. Maddesine eklenen hükümle hiç kimsenin eğitim hakkından mahrum bırakılamayacağını altı çizilerek devletin eğitim ve öğretime ilişkin görevlerini yerine getirirken anne ve babanın eğitim ve öğretimi kendi dini ve felsefi inançları doğrultusunda seçme haklarına saygı göstermesi gerektiğini belirtmiştir. Burada anne babanın bu hakkına saygı göstermesi gereken devlete de birtakım yükümlülükler getirilerek gerekli tedbirleri alması konusunda zımni bir görev verilmiştir.

1961 tarihli Avrupa Sosyal Şartı ise daha çok sosyal ve ekonomik ve özellikle de çalışma koşullarını düzenleyen bir belge niteliğindedir. Şartın, Çocukların ve Gençlerin Korunması başlığı altındaki 7. Maddesinde kişisel gelişim ve eğitimlerine zarar vermemek koşuluyla hafif işler dışında 15 yaşından önce

çalıştırılmayacağı, tehlikeli işlerde 18 yaşından önce çalıştırılmayacağı gibi eğitimlerini ve kendilerini korumaya yönelik benzer hükümler içermektedir. 10. Maddesinde ise, mesleki eğitimlerini teminat altına almak için alınması gereken tedbirlerden bahsetmektedir.

Ekonomik, Sosyal ve Kültürel Haklara İlişkin Uluslararası Sözleşme (ESKHUS, 1966) ise eğitim hakkına ilişkin düzenleme içeren bir başka Birleşmiş Milletler belgesidir. Sözleşmenin 13. Maddesinde sözleşmeye taraf devletlerin herkesin eğitim hakkını tanıdığını ve İnsan Hakları Evrensel Beyannamesi ile uyum içerisinde gerekli tedbirlerin alınması konusunda mutabık kalınmıştır. Bunlara ek olarak yine aynı maddede ilköğretimlerini tamamlayamamış olanlara da gerekli desteğin sağlanması, devlet organlarınca kurulan okulların yanı sıra devletin onay vereceği okulların da seçme özgürlüğüne bağlı olarak dini ve ahlaki eğitim almalarının da garanti altına alınacağı belirtilmektedir.

1989 yılında Birleşmiş Milletler Genel Kurulu tarafından kabul edilen Çocuk Haklarına dair Sözleşme (UNICEF, 1989) de eğitim hakkına ilişkin çeşitli hükümler barındırmaktadır. Yine İnsan Hakları Evrensel Beyannamesi ile uyum içinde olan sözleşme yeni birtakım hükümleri beraberinde getirmiştir. Sözleşmenin 28. Maddesi çocuğun eğitim hakkının fırsat eşitliği üzerine aşamalı bir şekilde gerçekleştirilmesi gerektiğini belirtirken; eğitimin parasız olması gerektiğinin altını çizmiş ve ilk defa da ortaöğretim sisteminin de örgütlenmesinden bahsetmiştir. Eğitim ve meslek seçme konusunda çocuklara yapılacak rehberliğin yanı sıra okullara devamın sağlanması ve devamsızlık oranlarının düşürülmesi için de önlemler alınması tavsiye edilmiştir. Okuldaki disiplin işlemlerinin de insanlık onuruna yakışır şekilde düzenlenmesi ve okuma yazma oranlarının artırılması için gerekli çabanın gösterilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Sözleşmenin 29. Maddesi ise eğitimin amaçlarından bahsetmiştir. Buna göre, çocuğun fiziksel ve zihinsel gelişiminin artırılması, temel hak ve özgürlükleri ile kültürel kimliklerine saygı gösterilmesi, barış ve hoşgörünün hâkim kılınması ve çevreye saygının geliştirilmesi için gerekli çabanın gösterilmesi temel amaçlardandır.

B. Ayrımcılık Yasağı: Uluslararası Normatif Çerçeve

Ayrımcılık, hukuk düzeni tarafından korunan kişilik haklarının kişi ya da kurumlar tarafından örtülü veya açık bir şekilde görmezden gelinmesidir. Kişinin bu muameleyle karşılaşma sebebi çoğu zaman sahip olduğu veya sahip olmadığı bir nitelikten dolayıdır. Ayrımcılığın birçok nedeni olabilir. Bunlar; yaş, cinsiyet, etnik köken, engellilik, yabancılık gibi. Ancak burada belirtmek gerekir ki, ayrımcılığın en kabaca tanımı, dışlanmaktır. Genele göre olumsuz bir şekilde özel muamele ile karşılaşılmasıdır.

Ayrımcılık doğrudan yapılabileceği gibi, dolaylı şekilde de ayrımcılık söz konusu olabilir. Örneğin belli bir etnik kökene sahip olan çocuklara eğitim hakkını kullanmasına engel olacak şekilde farklı muamele yapılması veya bir işyerinde erkeklerle aynı işi yapan kadın işçilere sırf kadın oldukları için düşük ücret verilmesi doğrudan ayrımcılıktır. Dolaylı ayrımcılık ise ortamdaki kişilerin özel durumlarını göz önüne almadan dezavantajlı konuma getirerek kişileri genel bir kurala tabi tutmaktır. Örneğin, okuldaki farklı dinlere mensup öğrencilerin hassasiyetleri göz önüne alınmadan genel bir kılık kıyafet yönetmeliğinin uygulanması. Tabi bazı durumlarda pozitif ayrımcılık yapıldığı da görülmektedir. Örneğin eğitimde dezavantajlı grup olarak kabul edebileceğimiz kız çocukların veya engelli öğrencilerin okula gitmelerine yönelik olarak ücretsiz servis ve yemek hizmetinin verilmesi. Sosyal açıdan dışlanma ihtimali olan grupları topluma kazandırmak amacıyla yapılan iyi uygulamalardır.

C. Uluslararası Sözleşmeler Çerçevesinde Ayrımcılıkla Mücadele Mekanizmaları

Uluslararası sözleşmelerde ayrımcılıkla mücadeleye ilişkin birçok hüküm yer almaktadır. Bu bölümde önemine binaen başlıca mücadele mekanizmalarına yer verilecektir. İnsan Hakları Evrensel Beyannamesi'nin 7. Maddesinde ayırım gözetilmeksizin herkesin kanun önünde eşit olduğu ve her türlü ayrımcılığa karşı eşit korunma hakkının varlığından bahsetmektedir. Ekonomik, Sosyal ve Kültürel Haklara İlişkin Uluslararası Sözleşme'nin 2. Maddesinde ise sözleşmedeki hakların herhangi bir ırk, renk, dil, din, etnik köken vs. sebeplerden dolayı ayrımcılığa maruz kalmaksızın kullanılmasının garanti altına alınması gerektiği belirtilmiştir. 10. Maddede ise tüm çocuklar ve gençler için ise ebeveynlik veya diğer koşullar nedeniyle herhangi bir ayrımcılık yapılmaksızın özel koruma ve yardım tedbirlerinin alınması gerektiği belirtilerek çocuk ve gençlerin ekonomik ve sosyal sömürüden korunması zorunluluğundan bahsetmiştir. Çocuk Haklarına Dair Sözleşme'nin 2. Maddesi de taraf devletlerin çocuğun anne babasının tabi olduğu

dil, din, etnik köken vs. sebepler nedeniyle ayrıma tabi tutulmadan her türlü haktan yararlandırmayı taahhüt eder ve yine bu sebepten dolayı alabilecekleri cezadan korunmaya karşı uygun önlemleri alır, ifadesine yer vermiştir. Avrupa İnsan Hakları Sözleşmesi'nin "Ayrımcılık yasağı" başlıklı 14. Maddesi ise sözleşmede yer alan haklardan yararlanmada ırk, renk, dil, din, siyasal veya diğer kanaatler, ulusal veya toplumsal köken, ulusal bir azınlığa aidiyet, servet, doğum başta olmak üzere herhangi bir konuda ayrımcı davranış gözetilemez diyerek ayrımcı davranışları yasaklamıştır. 2000 yılında 12 nolu Protokol ile bu sözleşmeye eklenen hüküm gereği 1. Madde ayrımcılığa ilişkin genel bir yasaklama getirmiş ve ikinci paragrafında ise hiç kimsenin hiçbir gerekçeyle hiçbir kamu makamı tarafından ayrımcılığa maruz bırakılamayacağı belirtilmiştir.

18 Aralık 1979 tarihli Kadınlara Karşı Her Türlü Ayrımcılığın Önlenmesine Dair Sözleşme (Convention on the Elimination of All Forms of Discrimination against Women, [CEDAW]), kadınların durumunu izlemek ve kadınların haklarını geliştirmek amacıyla 3 Eylül 1981 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Sözleşmenin 10. ve 11. Maddeleri kadınların eğitim hakkı ve özellikle de mesleki eğitimleri konusunda düzenlemeler yapmıştır. 10. Maddede kadınların erkeklerle eşit eğitim hakkına sahip olmaları, kırsal ve kentsel alanlarda tüm eğitim kurumlarında ve eğitimin her aşamasında eşit davranılması gerektiği belirtilmiştir. Kadın erkek arasındaki eğitim farkının mümkün olan en kısa süre içerisinde azaltılması için eğitim programlarına katılmaları için eşit fırsatların yaratılması sağlanmalıdır. Yine kız öğrencilerin okul terk oranlarının düşürülmesi ile erken yaşta okul bırakanlara yönelik programların düzenlenmesi gerekliliği vurgulanmıştır. 11. Maddede ise kadınların istihdam yaşamında ayrımcılığa maruz kalmasına engel olacak hükümlerin yanı sıra mesleki eğitim alma hakları güvence altına alınmıştır.

Bu sözleşmeye ek olarak 1999 yılında çıkarılan "Kadınlara Karşı Her Türlü Ayrımcılığın Önlenmesine Dair Sözleşmeye Ek İhtiyari Protokol"de (Optional Protocol to the Convention on the Elimination of All Forms of Discrimination against Women, 1999) protokole taraf olan devlet aleyhine kişi veya kişilerin sözleşmede yer alan hakların ihlal edildiği ve mağdur olduklarına dair şikayetleri değerlendirmek üzere "Kadınlara Karşı Ayrımcılığın Önlenmesi Komitesi" kurulmuştur. Bu Komiteye başvurabilmek için öncelikle sözleşme kapsamındaki hakların ihlal edildiği iddia edilmeli ve iç hukuk yollarının da tüketilmiş olması gerekmektedir (Protokol m. 4). Komite kişinin başvurusunu kabul edilebilir bulursa protokole taraf şikâyet edilen ülkeden savunma isteyebilir. Komite tarafları dinleyip bulguları değerlendirdikten sonra ilgili devlet tarafına her türlü yorum ve tavsiyelerini iletir ve altı ay içinde ilgili devletten gözlemlerini iletmesini bekler. Ancak Komite bir taraf devletin sözleşmede belirtilen hakları ağır ve sistematik olarak ihlal ettiğine dair güvenilir bilgi alması halinde soruşturma prosedürünü kendiliğinden başlatabilir (Protokol m. 8). Uluslararası alanda bu da etkili bir denetim aracıdır.

1965 tarihli "Her Türlü Irk Ayrımcılığının Ortadan Kaldırılmasına İlişkin Uluslararası Sözleşme"nin (International Convention on the Elimination of All Forms of Racial Discrimination, 1965) 5. Maddesinde eğitim ve öğrenim hakkı da dahil birçok konuda her türlü ve özellikle ırk, renk, ulusal veya etnik kökene dayalı ayırım yapılmaksızın haklardan yararlanma konusunda kanun önünde herkesin eşit olduğunu taraf devlet taahhüt eder, ifadesine yer verilmiştir. 7. Maddesinde ise devlete, ayrımcılıkla mücadele ederek hoşgörü ve anlayışı öğretim, eğitim, kültür ve bilgi alanlarında etkili kılmayı taahhüt eder, diyerek devletin ayrımcılıkla mücadele konusunda eğitim de dahil birçok alanda tedbirler alması gerektiğini vurgulamıştır. Taraf devletler belirli aralıklarla Komisyona rapor verirler ve taraf devletlerin adli, idari ve kanuni tedbirleri ve yaşanan sorunlar bu şekilde takip edilebilir. Taraf devletlerin temsilcileri ile yapılan görüşmeler sonucunda eksiklikler belirlenerek tavsiyelerde bulunulur. Bu tavsiyeler bağlayıcı olmasa da devletler üzerinde uluslararası bir denetim ve siyasi baskı aracı olarak kullanılabilir.

2006 yılında kabul edilen "Engelli Hakları Sözleşmesi" nin (Convention on the Rights of Persons with Disabilities, 2006) eğitim başlıklı 24. Maddesi taraf devletlerin engelli kişilere eğitim hakkı tanınmasını ve ayrımcılık yapılmaksızın bu kişilerin eşit fırsatlara sahip olması için gerekli çabaların gösterilmesi gerektiğini belirtmektedir. Taraf devletler engelli bireylerin genel eğitim sisteminden dışlanmasına izin vermeyeceği gibi onların eğitimlerinin ücretsiz olmasına da gayret edeceklerdir. Engelli bireylerin istihdam yaşamına dahil edilmeleri için yükseköğretim ve mesleki eğitim de dahil her türlü bilgiye ayrımcılığa maruz kalmadan ulaşabilmeleri sağlanacaktır. Sözleşmenin 34. Maddesine göre kurulan Komite hükümetler tarafından sunulan raporları inceleyerek sonuçlara ilişkin gözlemlerini yayınlar. Komite, izlediği Sözleşmede yer alan hakların bir Devlet tarafınca sistematik olarak ihlal edildiğine dair güvenilir bilgi

alması halinde soruşturma prosedürünü başlatabilir. Soruşturmalar, yalnızca Komite'nin bu konudaki yetkisini tanıyan Taraf Devletler açısından yürütülebilir. Komite devleti iş birliğine davet eder. Eldeki bilgiler ışığında komite üyelerinden biri veya birkaçı soruşturmayı yürütmekle görevlendirilir. Devletin izin vermesi halinde ülke ziyareti de soruşturma kapsamında yapılabilir. Hazırlanan rapor ilgili devlete iletilir ve altı ay içerisinde yazılı bir yanıt istenir. Bağlayıcılığı olmasa da uluslararası bir baskı aracı olarak kullanılabilir.

Yukarıda bahsedilen mekanizmalar uluslararası sözleşmelerde yer alan ancak yargısal veya yarı yargısal olmayan daha çok idari veya siyasi olarak kabul edilebilecek düzenlemelerdir. Tabi yargısal mekanizmaların ayrımcılıkla mücadelede daha etkin araçlar olduğunu söylemekte fayda vardır. Bu anlamda en etkin araçlardan biri Avrupa İnsan Hakları Mahkemesi'dir. Bu çalışmanın konusu olan eğitimde ayrımcılık iddialarını Avrupa İnsan Hakları Sözleşmesi'nin 14. Maddesi ve Ek Protokol 12 çerçevesinde değerlendirildiğinde ayrımcılık yasağına ilişkin hükümlerin somutlaştığı görülmektedir. Bölgesel nitelikte kabul edilebilecek Avrupa Birliği Adalet Divanı, Amerika İnsan Hakları Mahkemesi ve Afrika İnsan Hakları Mahkemesi de eğitim alanında yapılan ayrımcılıklara karşı kararlar vermektedir. Ancak gerek bu çalışmanın konusu olmadığı gerekse başka çalışmalarda değerlendirmek amacıyla eğitimde ayrımcılığa ilişkin yargısal faaliyetlere daha fazla değinilmeyecektir.

III. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu araştırmanın amacı, eğitim hakkının uluslararası hukuk belgelerindeki normatif çerçevesini inceleyerek bu hakkın kullanımında devletlerin üstlendikleri yükümlülüklerin açıklığa kavuşturulmasıdır. Eğitim hakkı, her bireyin sahip olması uluslararası belgeler çerçevesinde garanti altına alınan vazgeçilmez bir haktır. Ele alındığı uluslararası belgeler doğrultusunda bu hak, bireylerin ücretsiz temel eğitim alabilmesine, ortaöğretim kademesinin geliştirilmesine ve tüm çocuklar için eşit erişim olanaklarının sağlanması için gerekli tedbirlerin alınmasına, yükseköğretim kademesine ise adil erişim koşullarının oluşturulmasına ve temel eğitiminin tamamlayamamış bireyler için ise temel eğitimi tamamlamaları için gerekli koşulların oluşturulmasına olanak sağlamaktadır.

Araştırma kapsamında ele alınan belgelerde sıklıkla çocukların eğitime vurgu yapılırsa da eğitimin tüm bireylerin yararlanmasına açık bir hak olarak ele alındığı görülmektedir. Yine bu hakkın yalnızca vatandaşlar için değil azınlıkların, mültecilerin ve göçmenlerin de kullanımına uygun olduğu öngörülmektedir. Öte yandan BM belgelerinde eğitimin bir hak olarak düzenlenmiş olmasının ilköğretimin zorunlu olması, okula devamın teşvik edilmesi veya sağlanması için yapılacak düzenlemeler çerçevesinde eğitimin bir ödev olarak da değerlendirilebilmesine olanak sağladığı düşünülebilir (Kaplan, 2015). Ancak Binbir ve Arastaman (2021), eğitim hakkının verilmesinin yeterli bir şart olmadığını; devletlerin uygulama kısmında yükümlülüklerini yerine getirmemesi sebebiyle dezavantajlı birtakım grupların birçok sebepten ötürü eğitim hakkının engellenebildiğini ifade etmektedir. Bu belgelerin çoğunun Türkiye tarafından da kabul edildiği göz önüne alındığında devletin eğitim hakkına ilişkin hükümlerin uygulanması hususunda özen göstermesini gerektirdiği düşünülmektedir (Ataman, 2008). Dolayısıyla gerekli düzenlemelerin yapılarak tüm bireylerin eğitim ortamlarından olabildiğince faydalanmalarına fırsat verilmelidir (Demirtaş, 2019).

Elde edilen bulgular ışığında eğitim hakkının uluslararası belgelerde detaylı olarak tanımlandığı ancak bu normların uygulamaya yansıtılmasında önemli sorunlar yaşandığı tespit edilmiştir. Bu kapsamda, etnik köken, toplumsal cinsiyet, engellilik durumu ve göçmenlik statüsü gibi faktörlerin bireylerin eğitime erişimini olumsuz yönde etkilediği belirlenmiştir. Öte yandan hukuki düzenlemelerin mevcudiyetinin tek başına yeterli olmadığı; uygulamada etkinlik, izleme ve sürekli iyileştirmenin de zorunlu olduğu analiz sonuçları ile ortaya konulmuştur.

Bu çalışmada gözden geçirilen uluslararası belgeler, eğitim hakkını herkes için eşit koşullarda erişilebilir kılmayı amaçlamakla birlikte bu eşitliğin, sadece biçimsel olarak değil aynı zamanda içeriksel ve niteliksel seviyede de sağlanması gerektiğini vurgulamaktadır. Bu noktada, özellikle Türkiye eğitim politikalarında sıklıkla vurgulanan “Her çocuk biriciktir” ilkesiyle güçlü bir bağ kurulduğu düşünülebilir. Nitekim bu ilke, her çocuğun bireysel farklılıklarını, öğrenme biçimlerini, gelişim hızını ve sosyal-kültürel bağlamını göz önüne alan bir eğitim yaklaşımını gerektirmektedir. Dolayısıyla, evrensel eğitim hakkının

hayata geçirilmesi için çocukların yalnızca okula erişimlerinin sağlanması hedeflenmemeli; aynı zamanda onların farklılıklarına duyarlı, kapsayıcı ve adil bir eğitim ortamında öğrenme hakkı da güvence altına alınmalıdır (UNESCO, 2017). Bu yaklaşımın ayrımcılığın önlenmesi ve eğitimde fırsat eşitliğinin gerçekleştirilmesi açısından oldukça önemli olduğu söylenebilir.

Araştırma sonucunda, eğitim hakkının herkes için eşit biçimde sağlanmasına ve ayrımcılığın ortadan kaldırılmasına yönelik öneriler sunularak daha adil, kapsayıcı ve hak temelli bir eğitim sistemine katkı sağlanması amaçlanmaktadır. Bu doğrultuda aşağıdaki öneriler geliştirilmiştir:

- Eğitim hakkı ihlalleri ile ilgili veriler toplanarak şeffaf raporlama sistemleri kurulmalıdır. Bu sayede devletlerin sorumluluklarını yerine getirip getirmediklerinin düzenli olarak izlenmesi sağlanmalıdır.
- Kız çocuklarını, mültecileri, engelli bireyleri ve azınlık gruplarını içine alan, hedef odaklı, kültürel ve sosyoekonomik bağlamı gözetken pozitif ayrımcılık politikaları geliştirilmelidir.
- Ulusal mevzuatlar ve uygulamalar, uluslararası eğitim hakkı standartlarıyla uyumlu hale getirilmeli; eşitlikçi ve kapsayıcı bir eğitim sisteminin oluşturulması desteklenmelidir.
- Eğitim hakkı bağlamında kamuoyu bilgilendirilerek hak temelli eğitim politikalarının benimsenmesi ve sivil toplumun sürece etkin katılımının teşvik edilmesi sağlanmalıdır.

Sonuç olarak, eğitim hakkının gerçek anlamda uygulamaya geçirilebilmesinin normatif belgelerle birlikte bu normların eşit adil ve sürdürülebilir şekilde uygulanmasıyla ilişkili olduğu düşünülmektedir. Bu kapsamda, uluslararası hukuk belgeleriyle birlikte ulusal düzeyde politika yapıcılarının eğitim hakkını hayata geçirme yönündeki kararlılığının ve toplumsal duyarlılığın güçlendirilmesinin de kritik bir önem taşıdığı söylenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Akyeşilmen, N. (2014). Uluslararası insan hakları düzenlemeleri ve eğitim: eğitime hak temelli bir bakış. Milli Eğitim Dergisi, 44(201), 5-16.
- [2] Algan, B. ve Algan, M. (2013). Eğitim hakkı ve özgürlüğü bağlamında eğitim hizmetlerinin ruhsat usulü ile özel kişilere gördürülmesi. Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi, 17(3), 147-194.
- [3] Ataman, H. (2008). Eğitim hakkı ve insan hakları eğitimi. Ankara: İnsan Hakları Gündemi Derneği.
- [4] Binbir, Ü., & Arastaman, G. (2021). Eğitim hakkı: Bir sistematik derleme çalışması. OPUS International Journal of Society Researches, 18(Eğitim Bilimleri Özel Sayısı), 5067-5098.DOI: 10.26466/opus.898503.
- [5] Birleşmiş Milletler [BM]. İnsan Hakları Evrensel Beyanamesi (1948). <https://www.un.org/en/about-us/universal-declaration-of-human-rights> adresinden 10.07.2025 tarihinde erişilmiştir.
- [6] Convention on the Elimination of All Forms of Discrimination against Women New York, 18 December 1979. (1979). OHCHR. <https://www.ohchr.org/en/instruments-mechanisms/instruments/convention-elimination-all-forms-discrimination-against-women> adresinden 07.07.2025 tarihinde erişilmiştir.
- [7] Convention on the Rights of Persons with Disabilities. (2006). OHCHR. <https://www.ohchr.org/en/instruments-mechanisms/instruments/convention-rights-persons-disabilities> adresinden 05.07.2025 tarihinde erişilmiştir.
- [8] Çocuk Haklarına Dair Sözleşme | UNICEF Türkiye. (1989). <https://www.unicef.org/turkiye/%C3%A7ocuk-haklar%C4%B1na-dair-s%C3%B6zle%C5%9Fme> adresinden 05.07.2025 tarihinde erişilmiştir.
- [9] Demirtaş, Z. (2019). Uluslararası antlaşmalar çerçevesinde engellilerin eğitim hakkı. Türkiye İnsan Hakları ve Eşitlik Kurumu Akademik Dergisi, (2), 39-59.
- [10] Ekonomik, Sosyal ve Kültürel Haklar Uluslararası Sözleşmesi (1976, 3 Ocak) <https://unmik.unmissions.org/sites/default/files/regulations/06turkish/TIntCovEcSocCulRights.pdf> adresinden 03.07.2025 tarihinde erişilmiştir.
- [11] Gümüş, A. T. (2012). Eğitim hakkının dönüşümü. Journal of Social Studies Education Research, 3(1), 119-134.
- [12] International Convention on the Elimination of All Forms of Racial Discrimination. (1965). OHCHR. <https://www.ohchr.org/en/instruments-mechanisms/instruments/international-convention-elimination-all-forms-racial> adresinden 04.07.2025 tarihinde erişilmiştir.
- [13] International Covenant on Economic, Social and Cultural Rights. (1966). OHCHR. <https://www.ohchr.org/en/instruments-mechanisms/instruments/international-covenant-economic-social-and-cultural-rights> adresinden 07.07.2025 tarihinde erişilmiştir.
- [14] Kaplan, R. (2015). Birleşmiş Milletler belgelerinde eğitim hakkı. Türkiye Adalet Akademisi Dergisi, 6(20). 329-373.
- [15] Nations, U. (1948). Universal Declaration of Human Rights. United Nations; United Nations. <https://www.un.org/en/about-us/universal-declaration-of-human-rights> adresinden 03.07.2025 tarihinde erişilmiştir.

- [16] OHCHR. (1989). Çocuk Hakları Sözleşmesi. <https://www.ohchr.org/en/professionalinterest/pages/crc.aspx> adresinden 03.07.2025 tarihinde erişilmiştir.
- [17] Optional Protocol to the Convention on the Elimination of All Forms of Discrimination against Women. (1999). OHCHR. <https://www.ohchr.org/en/instruments-mechanisms/instruments/optional-protocol-convention-elimination-all-forms> adresinden 06.07.2025 tarihinde erişilmiştir.
- [18] UNESCO. (2017). A guide for ensuring inclusion and equity in education. Paris: UNESCO Publishing.

The Role of Protection Relays in Power Systems and an Overview of Their Operation System: A Sample Experimental Setup Design

Cihan AYHanci ^{1,2*}, Malik Ejder DENİZ ¹ and Ömercan HENEK ¹

¹Department of Electricity and Energy, Harran University, Türkiye

²Department of Electrical Engineering, Yildiz Technical University, Türkiye

^{*}(ayhanci@harran.edu.tr) Email of the corresponding author

Abstract – Uninterrupted and reliable operation of power systems is crucial for ensuring a continuous power supply to consumers, especially critical ones. Rapid fault detection has been shown to have a significant impact on equipment safety, as it trips circuit breakers immediately and before significant damage occurs. New protective relaying for fault detection, classification, and localization in electrical power transmission systems is crucial for researchers focused on improving power system reliability. Research in this area focuses on improving power system reliability. Protective relays are critical in power systems because they serve as decision-making devices that ensure the safe operation of power grid. They play a key role in power system protection. In this study, an experimental setup was designed to monitor electrical quantities and protect the system in the event of a fault. The system design employed an energy analyzer to measure energy parameters, and a MICOM P111 digital protective relay to implement protective functions. The relay includes basic protection functions such as phase overcurrent, and the accuracy and response times of these functions were evaluated through experimental scenarios. As a result of the fault scenarios created in the experimental setup, it was observed that the relay successfully fulfilled its protective functions, that trip times complied with the IEC 60255 standard, and that event records could be monitored in detail through the software. Furthermore, the system's panel structure facilitated visual monitoring and intervention in training environments, supporting the hands-on learning process. In this respect, the study provides a significant application example demonstrating the usability of digital protection relays in both field applications and technical training environments.

Keywords – Power System Protection, Protection Relay, Protective Relay, Micom P111, Overcurrent Fault, Earth Fault, Experimental Setup Design.

I. INTRODUCTION

Electricity is a fundamental need in modern life, affecting many areas from healthcare to transportation [1]. Power systems are complex structures that ensure the uninterrupted delivery of electrical energy to consumers [2]. Interruptions in power systems have significant social and economic impacts. Uninterrupted and reliable operation of power systems is crucial for providing a continuous power supply to consumers, especially critical ones. This reliability prevents power outages that could lead to significant operational disruptions and economic losses [1].

A critical characteristic of electric power systems is ensuring continuity of service with a high level of reliability. Faults must be analyzed and experienced to understand the causes of service interruptions and restore power delivery as quickly as possible, minimizing future occurrences. Rapid fault detection has been shown to have a significant impact on equipment safety, as it trips circuit breakers immediately and

before significant damage occurs. As the complexity of power systems with multiple control centers increases, the behavior and effects of faults become more complex, and the area affected by the fault expands. New protective relaying for fault detection, classification, and localization in electric power transmission systems is important for researchers focused on improving power system reliability. Research in this area focuses on improving power system reliability. The primary objectives of power system fault analysis are to: Provide sufficient information to understand the causes of an outage. Ensure the power transmission system is restored as quickly as possible. If possible, provide reporting to minimize the recurrence of future faults. Provide network insights into the system, leading to the development of preventative measures that can be implemented to reduce the likelihood of equipment damage. Rapid detection of faults has a significant impact on equipment safety by activating circuit breakers immediately and intervening in the system before significant damage occurs [3]. Rapidly identifying problems in smart grids and resuming normal operations are crucial for grid reliability and adaptability. Key objectives in the power system include: Detecting power grid faults with ultra-fast and precise accuracy. Accurately classifying detected faults (e.g., symmetric, asymmetric). Determining the exact location of the fault along the power transmission line. Evaluating the effectiveness of machine learning and metaheuristic algorithms to accomplish these tasks [4]. Transmission lines are vulnerable to overloads, ruptures, short circuits, icing, lightning strikes, tree intrusion, bird nesting, aging, human activity, hurricanes, and a general lack of protection and containment. The accelerating expansion of power systems and microgrids requires advanced fault diagnostic techniques to ensure uninterrupted electrical power [5].

Protective relays are critical in power systems because they serve as decision-making devices that ensure the safe operation of electrical grids. They play a key role in power system protection. They detect faults and initiate the isolation of affected sections, thus preventing equipment damage and ensuring continuity of supply to unaffected areas of the power system. Protective relays have evolved from electromechanical to modern digital and microprocessor-based designs. This evolution has increased the speed, sensitivity, and functionality of protective relays, making them an integral part of the reliability and efficiency of power generation, transmission, and distribution systems [6].

Protection relays are crucial in power systems because they protect power system equipment from unnecessary disturbances that could lead to voltage instability, collapse, or complete blackout. They contribute to the rapid analysis and resolution of abnormal conditions and faults, improving the overall power quality of the power system. By effectively detecting faults and isolating affected sections, protection relays ensure power system reliability and stability. Protection relays are essential for the proper operation and integrity of the electric power system, from generation to distribution [7].

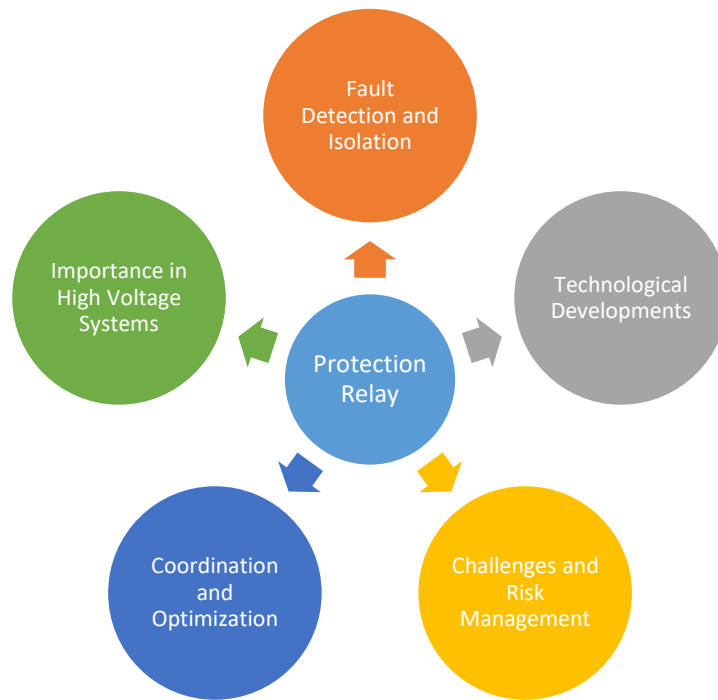


Fig. 1 Highlighting the Importance of Protection Relays in Power Systems by Examining Their Various Aspects

Protection relays are designed to detect faults such as short circuits, overcurrents, and voltage surges in the power system and prevent damage. They also isolate affected sections of the power system to maintain stability [7][8]. They utilize a variety of technologies, including digital relays that provide precise monitoring of the power system and respond quickly to disturbances, ensuring minimal impact on the overall system [9][10].

Over the years, power system protection relays have evolved from electromechanical devices to sophisticated digital systems incorporating advanced algorithms and communication technologies [6]. Modern relays, such as multifunction digital protection relays, provide comprehensive protection against a wide range of problems in the power system by continuously monitoring voltage, current, and frequency parameters [9]. The integration of centralized protection and control solutions represents a significant trend, offering improved coordination and management of protection systems [6]. Effective coordination of protection relays is crucial to ensure that only faulty sections are isolated, minimizing the detrimental impact on the rest of the power system [11]. Techniques such as genetic algorithms are used to optimize relay settings and ensure timely and accurate fault isolation while maintaining coordination between primary and backup protection schemes [11].

Despite their critical role in the power system, protection relays can experience latent faults that pose significant risks to power system safety and reliability [12]. Continuous monitoring and risk analysis in the system to detect and mitigate these hidden errors are absolutely necessary to ensure the integrity and effectiveness of the protection system [12]. In high-voltage direct current (HVDC) transmission systems, the role of protection relays in the power system becomes even more critical due to the increased complexity and potential for serious faults [13]. The development of relay protection technology, especially in HVDC systems, is vital to maintain high levels of safety and stability in expanding power grids [13].

This study examines the design process, components, and functions of a training setup developed to enhance both safety and traceability in electrical energy distribution systems. The designed panel system integrates elements such as analyzers, which monitor electrical parameters, and circuit breaker trip coils, which simulate overcurrent protection. This system is designed to provide hands-on training opportunities

in educational and laboratory environments. Switchgear equipment plays a critical role in the safe and efficient operation of electrical energy systems. The panel developed in this study aims to enable students and technicians to learn by observing the operation of system elements. Furthermore, monitoring real-time energy data allows for the analysis of system behavior.

II. MATERIALS AND METHOD

Power systems are complex structures with a high potential for minor or major disturbances during operation. These disturbances in the power system can have serious consequences, such as the power grid failing to provide sufficient power to consumers due to a drop in power system frequency, and can have adverse effects on system stability [14][15][16]. Furthermore, faults occurring during abnormal conditions can draw large currents into the system, causing equipment damage or failure [17]. Power system protection is critical to prevent these problems and to prevent a decrease in power system quality (both in terms of generation and distribution). Critical equipment such as transformers, in particular, must be protected, as the failure of a single transformer can affect the entire system. Protection in power systems generally falls into two main categories: System Protection and Equipment Protection.

A. System Protection Approach in Power Systems

System protection aims to ensure the stability and operation of the entire power system. System protection focuses on maintaining the stability and integrity of the entire power system. The aim is to prevent large-scale faults (e.g., short circuits, unbalances, frequency deviations) from spreading throughout the system and preventing system collapse. Protection covers the main components of the system, such as transmission and distribution lines, main transformers, and switchgear. The system is divided into protection zones. Each zone has main and backup protection relays. Wide-area protection (WAP) monitors system integrity by collecting data from different zones and performs automatic interventions against mass faults [19]. System Integrity Protection Schemes (SIPS) are automatically activated in extraordinary situations (e.g., large load losses, frequency or voltage deviations) and ensure system stability [20]. Protection methods used for system protection include frequency and voltage relays, wide-area monitoring systems (WAMS), and applied system automation. Communication between protection and control devices is achieved through protocols such as IEC 61850 [21].

B. Equipment Protection Approach in Power Systems

Equipment protection focuses on preventing damage to individual devices and components within the power system. Equipment protection aims to protect individual components of the power system (generators, transformers, lines, switchgear, etc.) from faults. The goal is to prevent equipment damage and prevent fault propagation. Abnormal conditions and environmental factors can significantly impact equipment life and performance [18]. Individual protection uses specially selected protection relays and circuits for each piece of equipment. When a fault is detected, only the relevant equipment is disabled for rapid and selective intervention, allowing the rest of the system to continue operating. To extend equipment life, protection against overcurrent, overvoltage, and ground faults is provided, extending the life of the equipment [22]. The protection methods used for equipment include overcurrent relays, differential protection, ground fault protection, thermal protection, and insulation monitoring. Overcurrent relays are activated in the event of overcurrent in lines and transformers. Differential protection: In generators, transformers, and large motors, it monitors the difference between input and output currents and detects internal faults. Ground fault protection quickly detects ground faults and isolates equipment. Thermal protection monitors equipment temperature, activating in the event of overheating. Insulation monitoring detects insulation deterioration, particularly in high-voltage equipment [22].

Table 1. Differences Between System Protection and Equipment Protection [18-25]

Feature	System Protection	Equipment Protection
Scope	Entire power system, regional/general	Individual equipment
Purpose	Ensuring system integrity and stability	Preventing damage to equipment
Intervention Area	Large space, multiple equipment	Only faulty equipment
Relays Used	Frequency, voltage, system integrity relays	Overcurrent, differential, ground fault relays
Result	Prevents system blackout and isolates major faults.	Extends equipment life, limits fault propagation

In power systems, system protection and equipment protection are indispensable for a safe, stable, and sustainable energy supply. System protection prevents the spread of large-scale faults by protecting the entire power system, while equipment protection prevents faults from spreading throughout the system and extends the life of equipment by ensuring the safety of individual devices [19][20][22][23]. Artificial intelligence and machine learning are prominent in the protection approach in modern power systems. Data-driven approaches are becoming widespread for fault detection and increasing system stability. This enables protection systems to make faster and more accurate decisions [23]. In smart grids, with the development of communication and automation, protection systems have become more flexible and adaptive. Especially in renewable energy integration, protection algorithms are constantly updated. Redundant and multi-layered algorithms are constantly updated in both equipment and system protection [24][25].

C. Basic Operating Principles of Protection Equipment in Power Systems

The primary protection equipment used in power systems includes relays, fuses, breakers, surge arresters, and other specialized protection devices. The primary purpose of these equipment is to rapidly and selectively detect faults occurring in the system and isolate the faulted area, thus ensuring the safety of both the system and the equipment. Overcurrent protection activates the relay when the current in the system exceeds a predetermined limit, tripping the breaker and opening the circuit. This protection is used in short circuit and overload situations [26][27]. Differential protection operates on the principle of measuring the difference between the input and output currents of the protected equipment [27]. When the difference resulting from the measurement exceeds the set limit, a fault is considered present, and the circuit is opened. It is used to detect internal faults, particularly in transformers and generators [28]. Distance protection calculates the impedance from the current and voltage values at the ends of the line. If the calculated impedance falls within the determined fault area, the relay opens the circuit [29]. Selective protection is thus provided, especially on long transmission lines [28]. Ground fault protection detects ground current in the power system and intervenes quickly in case of ground faults and ensures the isolation of the equipment [26][27].

Table 2. Basic Protection Equipment and Working Principles

Protective Equipment	Basic Working Principle	Description	Reference
Overcurrent Relay	It opens the circuit if the current exceeds a certain threshold.	It works quickly in case of short circuit or overload.	[26][27]
Differential Relay	It monitors the difference between input and output currents and opens the circuit if the difference exceeds a certain value.	It is especially used in transformer and generator protection.	[27][28]
Distance (Impedance) Relay	It determines the fault area by measuring the impedance of the line, and opens the circuit if it detects a fault at a certain distance.	It is generally used in transmission lines and is effective in fault location detection.	[27][29]
Ground Fault Relay	It monitors the ground current and trips the circuit when it detects an abnormal ground current.	Provides rapid intervention in grounding faults.	[26][27]
Fuse	When the current exceeds a certain value, it melts and opens the circuit permanently.	Simple, fast and disposable, it is often used in distribution and small equipment.	[26]
Circuit Breaker	It opens or closes the circuit with the trigger signal from the protection relay.	It works with relays to isolate the faulty area.	[26][27]
Surge Arrester	In case of sudden overvoltages (e.g. lightning), it comes into play and transmits the excess energy to the ground.	Protects equipment from overvoltage, especially common in substations.	[30]

Protection relays continuously monitor system parameters (distance, overcurrent, etc.) (Fault Detection). If an abnormality in the parameters (e.g., overcurrent or impedance change) is detected, the relay determines the location and type of fault (Fault Analysis). The relay evaluates the impact of the fault on the system and decides to open the circuit according to the protection logic (Decision Making). The circuit breaker isolates the faulted area with the trip signal from the relay (Circuit Break). The faulted section remains disabled, while the rest of the system continues to operate normally (System Stabilization) [31].

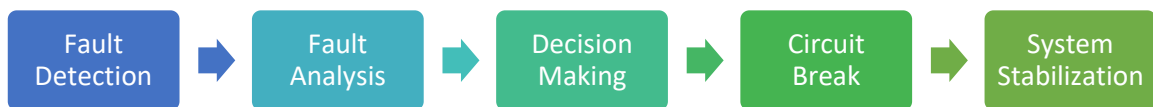


Fig. 2 Functioning of the Protection System [31]

The protective relay operates as a sensing device in the power system; it detects the fault occurring in the system, determines its location, and finally gives the circuit breaker the command to open the circuit. The circuit breaker, after receiving the command from the protective relay, disconnects the faulty section [32].

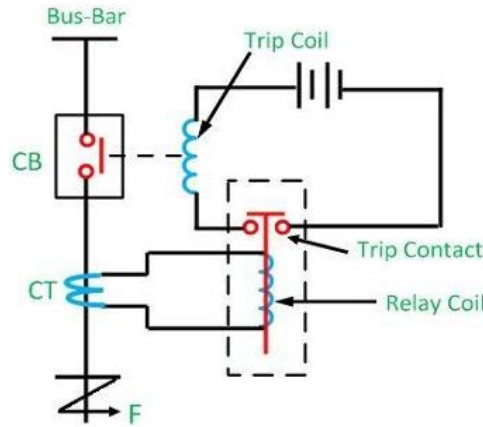


Fig. 3 Basic Connection Diagram of Protection Relay [32]

D. Approach of This Study

In this study, a training panel capable of performing protection and monitoring functions in power systems was designed. The panel integrates both a protection relay (MiCOM P111) and an energy analyzer, providing real-time measurement and fault scenario monitoring experience. Application scenarios simulate fault conditions such as overcurrent and ground leakage in three-phase systems, providing an understanding of the dynamic response of protection devices.

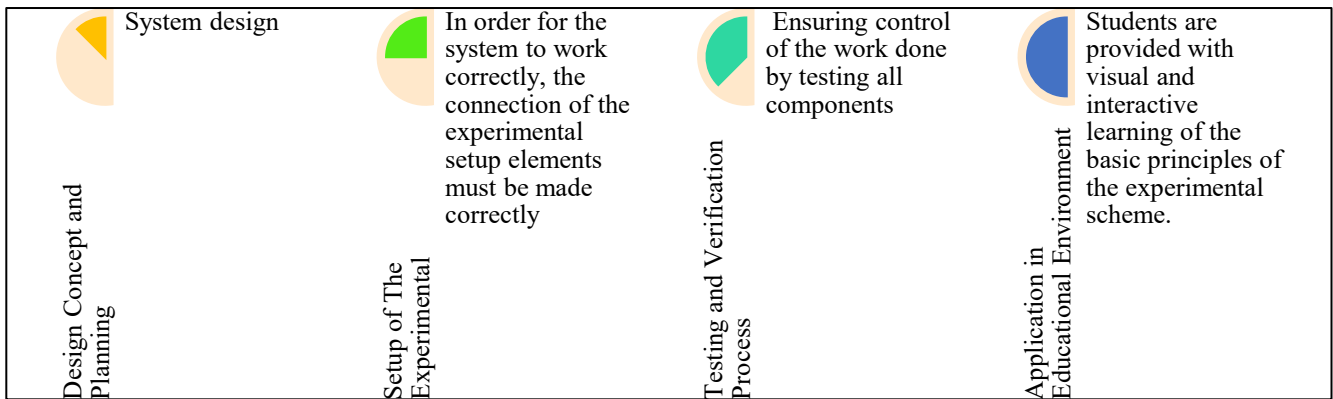


Fig. 4 Method of the Study

The operating steps of the prepared test setup are as follows. The current transformer reads the current values of the phases. These values are displayed on the energy analyzer. The values read by the current transformer are transmitted to the MICOM P111. The MICOM P11 compares the transmitted data with the set values. If the transmitted values are within the set value range, the system continues operating normally. If an abnormality is detected between the transmitted and set values, the relay sends a command to the trip coil via the auxiliary relay, causing the breaker to open. Opening the breaker protects the feeder and connected systems. After the abnormal or faulty condition is resolved, the closing coil is set up via the cam switch on the panel and the auxiliary relay. Pressing the start button activates and activates the representative closing coil instead of the breaker. While the system is operating, the data from the current transformer is continuously evaluated, ensuring continuous system protection through the MICOM P111.

E. Equipment Used in the Experimental Setup

In this study, a representative panel design was made for a medium voltage line using Schneider Electric MICOM P111 protection relay, Entes MPR-47S-D Energy Analyzer, auxiliary relay, on-off coil, current transformer, siren, paco switch, button, lamp holder, bulb, battery, terminal block and mini circuit braker.

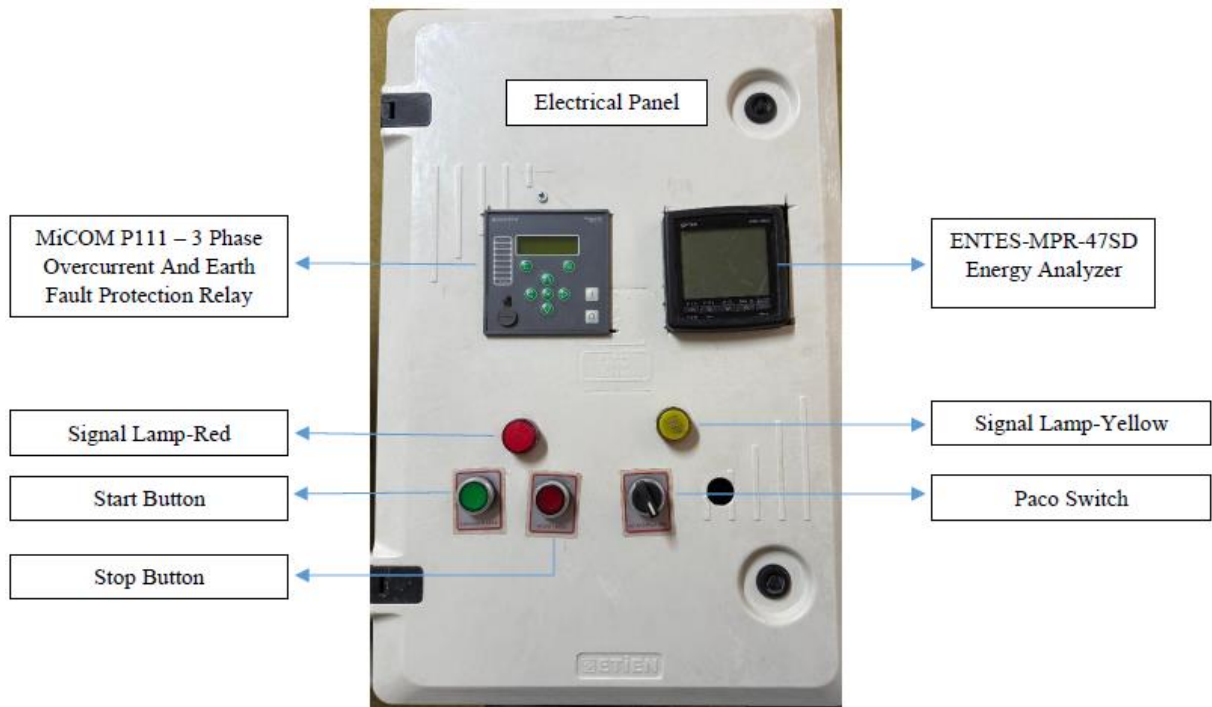


Fig. 5 Prepared Experimental Setup - Front View

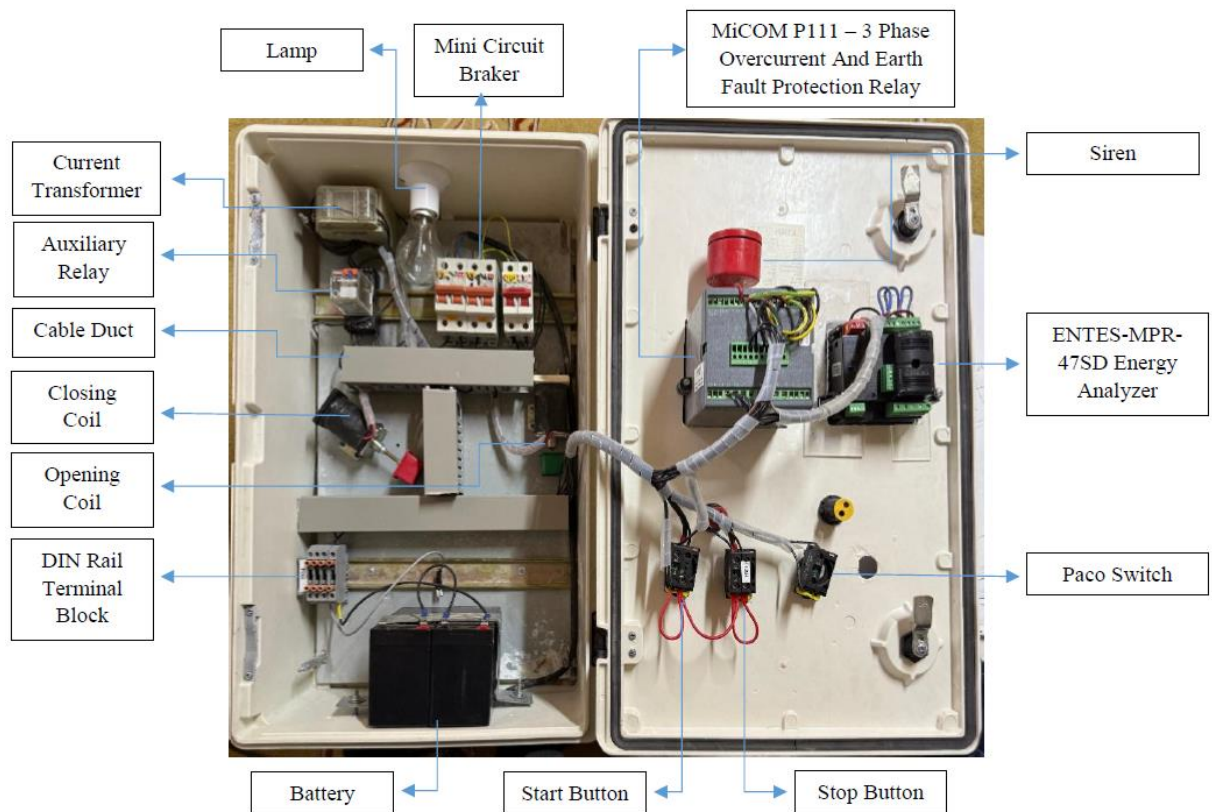


Fig. 6 Prepared Experimental Setup - Internal View

F. Schneider Electric MICOM P111 Protection Relay

Developed by Schneider Electric, the MICOM P111 is a device classified as a digital protection relay. Used primarily in medium-voltage power distribution systems, the MICOM P111 model is primarily

designed to provide overcurrent and ground fault protection. Its compact design, programmable interface, and communication support provide safe and effective protection in many applications. The MiCOM P111's intended use is to prevent system damage by detecting conditions such as phase-to-phase short circuits, phase-to-ground faults (ground leakage), and long-term overloads. By detecting these types of faults, it sends a trip signal to the circuit breakers to which it is connected, isolating the faulty area from the network. This ensures both power continuity and prevents damage to switchgear (transformer, cable, panel, etc.) [33].



Fig. 7 Schneider Electric MICOM P111 Protection Relay [33]

The Schneider Electric MICOM P111 is a high-performance digital distance protection relay designed specifically for transmission lines and distribution networks. Developed to provide reliable and fast protection in power systems, this relay combines multiple protection functions and advanced communication capabilities. It increases system stability, simplifies fault management, and supports integration into automation systems [34].

Table 3. Protection Functions of Schneider Electric MICOM P111 Protection Relay [35]

Code	Description
50/51	Overcurrent protection (definite time or inverse time)
50N/51N	Earth fault protection (through neutral current)
49	Thermal overload protection
74T	Test/monitor function
50BF	Circuit breaker failure protection
86	Storage/lock function

The MICOM P111 Protection Relay is used specifically at the feeder outputs of medium-voltage switchgears to both protect energy consumers and provide remote monitoring and control via SCADA. An example of a MICOM P111 usage scenario on a medium-voltage feeder line is presented in Figure 8 [34].

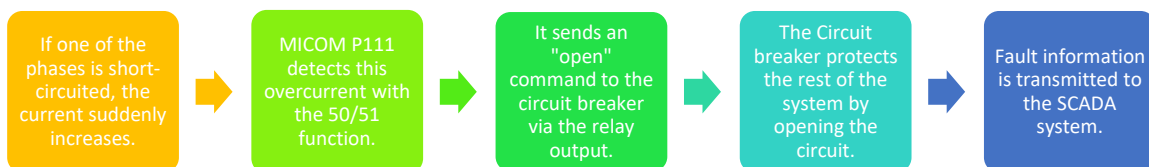


Fig. 8 Schneider Electric MICOM P111 Protection Relay Usage Example [34]

G. ENTES MPR-47S-D Energy Analyzer

It is a network analyzer developed by ENTES. It is used to increase energy efficiency and ensure system security by performing detailed measurement and analysis of electrical parameters. Its purpose is to monitor and analyze energy consumption, measure electrical parameters (voltage, current, power, frequency, etc.), detect harmonic distortions and voltage fluctuations, evaluate energy quality, and provide data to SCADA systems [36].



Fig. 9 ENTES MPR-47S-D Energy Analyzer [36]

III. RESULTS

Three different test scenarios performed with the MiCOM P111 digital protection relay integrated on the experimental board designed in this study verified the functionality of the system in terms of both protection and monitoring.

Table 4. Scenarios Applied in the Experimental Setup

Scenario Number	Scenario Name	Description of the Scenario	Educational Outcome
1	Nominal Operating Condition	The system operates within the value range set for MICOM P111.	Understanding the operation of the system under nominal operating conditions is provided.
2	Operating Status at the Time of Failure	Overcurrent fault occurring in the system is isolated by MICOM P111 detecting the value measured in the current transformer.	Understanding the reaction and operation of the system under faulty conditions is provided.
3	Re-commissioning of the System After a Malfunction	After the fault in the system is resolved, the system is put back into operation.	It is ensured that the system is put back into operation after a fault condition.

As part of experimental applications, the basic protection function, phase overcurrent, was tested under controlled conditions, and the relay's fast and accurate response in the event of a fault was observed. In the overcurrent application scenario, the current transformer reads the current values of the phases. These values are displayed on the energy analyzer. The values read by the current transformer are transmitted to the MICOM P111. The MICOM P11 compares the transmitted data with the set values. If the transmitted values are within the set value range, the system continues operating normally. If an anomaly is detected between the transmitted values and the set values, the relay sends a command to the trip coil via the auxiliary relay, causing the breaker to open.



Fig. 10 MICOM P111 Overcurrent Fault Status After Applied Scenario

Additionally, observations made with the analyzer revealed instantaneous and accurate monitoring of variables such as system voltage, current, frequency, and power factor. This demonstrates that the panel successfully fulfills both its protection and energy monitoring functions. The MiCOM P111 relay proves to be a reliable, fast, and educationally suitable protection device for both field and educational applications.

IV. DISCUSSION

Tests conducted with the training setup designed in this study, integrated with the MICOM P111 digital protection relay and energy analyzer, yielded significant findings from both technical and educational perspectives. In the implemented scenarios, the relay's responses to basic protection functions, such as overcurrent, were observed in accordance with manufacturer specifications and international standards (IEC 60255, IEEE C37.112). In tests conducted under inverse time (IDMT) protection characteristics, the MiCOM P111 demonstrated its reliability by operating within less than 5% of the theoretical trip times. This finding demonstrates the effectiveness of digital relays for educational purposes in terms of both accuracy and teachability. Furthermore, the relay's event recording function, instantaneous current and voltage measurements, and communication features (Modbus RTU, IEC 60870-5-103) were observed to offer a suitable structure for integration into modern SCADA systems. This study particularly improved vocational school students' skills in relay configuration, fault scenario creation, and data interpretation. During the experiment, students had the chance to observe how protection functions work not only theoretically but also in practice for system security and continuity.

V. CONCLUSION

While protective relays are essential for maintaining the safety and reliability of power systems, they are not without challenges. The complexity of modern power systems and the increasing demand for electricity require continuous advances in relay technology and coordination strategies. Furthermore, this study highlights the potential for latent faults and the need for continuous monitoring and risk management to ensure the effectiveness of protection systems. As power systems continue to evolve, the role of protective relays will continue to be crucial in protecting the electrical infrastructure.

In this study, a training setup designed for the training purposes of protection and monitoring elements used in electrical power systems was evaluated with practical scenarios. Scenarios conducted with the MiCOM P111 digital protection relay located within the panel showed that basic fault conditions such as phase overcurrent in the system can be accurately detected and intervened in a timely manner. The trip

times obtained in the tests showed a high degree of compliance with inverse time (IDMT) protection curves and remained within the limits specified in the IEC 60255 standard. These results demonstrated that the MiCOM P111 relay is successful in terms of both accuracy and reliability. Furthermore, features such as event recording, LED warning system, and software-based data monitoring demonstrate that the device provides a strong infrastructure for integration with modern SCADA systems. This study also contributes by demonstrating how relay tests, which are generally handled in simulation environments in the literature, can be transformed into training materials with a real hardware-based system. Similarly, when compared to applications using different types of relays, the low cost and portability of this system allow it to be easily adapted to different scenarios. In future studies; It is possible to further develop this training mechanism by incorporating other advanced protection functions of the relay (e.g. frequency protection, motor start-up protection, harmonic monitoring, etc.) into the scenarios, realizing SCADA integration and making the system remotely monitorable.

REFERENCES

- [1] Ayhanci, C., Yoldas, B. Y., & Kekezoglu, B. (2017). Blackout and blackstart on power systems. *PressAcademia Procedia*, 5(1), 190–197. <https://doi.org/10.17261/Pressacademia.2017.589>
- [2] Ayhancı, C., & Kekezoğlu, B. (2022). Güç sisteminin tam çökmesi sonrasında yeniden başlatma özellikli güç üretim santrallerinin sistem restorasyonundaki önemi. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 7(2), 99–112.
- [3] Alsafasfeh, Q. H., Abdel-Qader, I., & Harb, A. M. (2012). Fault classification and localization in power systems using fault signatures and principal components analysis.
- [4] Najafzadeh, M., Pouladi, J., Daghigh, A., Beiza, J., & Abedinzade, T. (2024). Fault detection, classification and localization along the power grid line using optimized machine learning algorithms. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 17(1), 49.
- [5] Shakiba, F. M., Azizi, S. M., Zhou, M., & Abusorrah, A. (2023). Application of machine learning methods in fault detection and classification of power transmission lines: A survey. *Artificial Intelligence Review*, 56(7), 5799–5836.
- [6] Shah, V. (2022). Protection — Evolution, technologies and trends. *The Journal of CPRI*, 17(2), 89–95. <https://doi.org/10.33686/pwj.v17i2.1072>
- [7] Hwang, G. H. (2017). A review on equipment protection and system protection relay in power system. *International Journal of Integrated Engineering*, 9(4), 7–12.
- [8] Schegner, P. (2021). Power system protection. In *Power Systems* (pp. 975–1014). Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-32-9938-2_13
- [9] Riza, A. N., Suharningsih, S., Anggriawan, D. O., & Sunaryo, E. (2024). Multifunctional digital protection relay for voltage and current disturbances in power networks. *Emitor: Jurnal Teknik Elektro*, 24(3), 309–315. <https://doi.org/10.23917/emitor.v24i3.5313>
- [10] Yang, H. (2012). Study on power systems protection via digital relaying. *Applied Mechanics and Materials*, 174–177, 3489–3492. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.174-177.3489>
- [11] Nair, D. S. (2013). Protective relay coordination in an interconnected power system by genetic algorithm. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 2(4).
- [12] Ning, L. (2019). Relay protection hidden fault monitoring and risk analysis based on the power system. In *Proceedings of the International Conference on Electrical, Control and Automation Engineering* (pp. 991–997). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-31129-2_92
- [13] Sun, J. (2020). Analysis of relay protection in power system based on high voltage. *Journal of Physics: Conference Series*, 1549(5), 052002. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1549/5/052002>
- [14] Wu, C., Gao, L., & Dai, Y. (2010). Simulation and optimization of load shedding scheme for islanded power system. In *Power System Technology (POWERCON), International Conference*, pp. 1–6.
- [15] Chattopadhyay, S., Mitra, M., & Sengupta, S. (2011). Electric power quality. In *Electric Power Quality* (pp. 5–12). Springer Netherlands.
- [16] Seethalekshmi, K., Singh, S. N., & Srivastava, S. C. (2011). A synchrophasor assisted frequency and voltage stability based load shedding scheme for self-healing of power system. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 2(2), 221–230.
- [17] Andersson, G. (2011). *Power system analysis*. Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETH).
- [18] Blume, S. W. (2016). *Electric power system basics for the nonelectrical professional*. John Wiley & Sons.
- [19] Malmer, G., Samuelsson, O., Rolander, A., Nordström, L., Hillberg, E., & Ackeby, S. (2024, October). System integrity protection schemes in the Nordics – A comparative analysis. In *2024 IEEE PES ISGT Europe* (pp. 1–5). IEEE.
- [20] Stanković, S., Hillberg, E., & Ackeby, S. (2022). System integrity protection schemes: Naming conventions and the need for standardization. *Energies*, 15(11), 3920.

- [21] Ağın, A., Demirören, A., & Usta, Ö. (2024). A novel approach for power system protection simulation via the IEC 61850 protocol. *IEEE Access*.
- [22] Pfeffer, H., Flora, B., & Wolff, D. (2016). Protection of hardware: Powering systems (power converter, normal conducting, and superconducting magnets). *arXiv preprint*, arXiv:1608.03092.
- [23] Alhamrouni, I., Abdul Kahar, N. H., Salem, M., et al. (2024). A comprehensive review on the role of artificial intelligence in power system stability, control, and protection: Insights and future directions. *Applied Sciences*, 14(14), 6214.
- [24] Hossain, E., Hossain, J., & Un-Noor, F. (2018). Utility grid: Present challenges and their potential solutions. *IEEE Access*, 6, 60294–60317.
- [25] Verma, R. (2023, May). Power system protection: Hybrid technologies to improve the stability – A detailed review. In *2023 3rd ICACITE* (pp. 2609–2613). IEEE.
- [26] Onah, A. J. (2019). Investigating phase over-current (OC) protection in medium-voltage networks. *European Journal of Engineering and Technology Research*, 4(6), 41–49.
- [27] Onat, N. (2018). Trends in power system protection researches: A review of fundamental relays. *Balkan Journal of Electrical and Computer Engineering*, 6(4), 247–256.
- [28] Onah, A. J., & Ezema, E. E. (2020). Transformer differential protection. *European Journal of Engineering and Technology Research*, 5(8), 891–898. <https://doi.org/10.24018/ejeng.2020.5.8.2035>
- [29] Pangonilo, J. (n.d.). *Basic principles of distance protection*. Retrieved from <https://pangonilo.com/?sdmon=files/Basic Principles of Distance Protection.pdf>
- [30] Wang, Y. Y., Zhu, G., & Lin, F. (2024). Research on online monitoring of zinc oxide surge arresters in factory power supply systems. *Journal of Engineering and Technology Management*, 1(1), 26–30. <https://doi.org/10.62989/jetm.2024.1.1.26>
- [31] Blackburn, J. L., & Domin, T. J. (2007). *Protective relaying: Principles and applications* (1st ed.). CRC Press.
- [32] Circuit Globe. (n.d.). *Protective relays*. Retrieved from <https://circuitglobe.com/protective-relays.html>
- [33] Schneider Electric. (n.d.). *MiCOM P111: 3-phase overcurrent and earth fault protection relay*. Retrieved from <https://www.se.com/hk/en/product/P111-----/>
- [34] Schneider Electric. (n.d.). *MiCOM P111 Manual*. Retrieved from https://www.se.com/us/en/download/document/P111_EN_M_D11/
- [35] EMO. (n.d.). *Sayısal röle teknolojileri üzerine bir değerlendirme*. Retrieved from https://www.emo.org.tr/ekler/79a727188f38c61_ek.pdf?tipi=2&turu=X
- [36] Entes Elektronik. (n.d.). *MPR-47S-D Ürün Tanıtım Sayfası*. Retrieved from <https://www.ent.es.com.tr/mpr-47s-d/>

Feasibility of using steel fibrous waste in cementitious materials

Miloud BEDDAR¹, Moussa DEGHAL²

^{1, 2}Laboratory of materials and structures mechanics (LMMS), Civil Engineering Department, Faculty of Technology, M'sila University, B.B.A Road, , M'sila 28000, Algeria

miloud.beddar.@univ-msila.dz

Abstract-The use of fibers in cement-based materials has been studied extensively. As a result of this research and development, a wide range of fibers is now available for cementitious materials. However, little work has been done on adding fibrous waste to cement, mortar, and concrete and investigating this by-product fiber as a reinforcing material due to the absence of industrialised fibers in many countries.

The main aim of this experimental study is to investigate the suitability of using fibrous waste as a reinforcing material for cement-based materials. The presentation of such fibrous waste is presented in this paper. The influence of the type and content of fibrous waste is evaluated. The results obtained from a series of trials show that some of the of the physical and mechanical properties of the fibrous waste's composite material have improved.

Keywords- Feasibility, Steel Fibrous Waste, Cementitious Material.

I. INTRODUCTION

The application of composite materials in the engineering field is growing rapidly. Most of the technical activities or objects produced for everyday life are based on composite materials. Fiber-reinforced cement matrices, which contain concretes and mortars reinforced with short fibers, are perhaps the most important group of modern materials applied since the 1940s in various fields [1], from building construction up to concrete layers on runways and highways.

The mechanism of reinforcement of concrete by fibers consists of distributing short fibers regularly in the concrete matrix. This network of fibers opposes, as much as it is denser, the widening of the crack and acts as a crack arrestor by producing a pinching force, which tends to make its propagation slower and causes the transfer of stress across cracked sections, allowing the affected parts of the composite to retain some post-crack strength and to withstand deformations much greater than what can be sustained by the matrix alone.

Many studies [2, 3, 4] have reported that the influence of fibers on the composite behavior of elements subjected to loading is complex. In the limit of elastic deformation, the fibers are not active, and their role may derive from the law of mixtures [5]. When the microcracks are open, the fibers act as crack arrestors and control their propagation. The total strength is increased due to the fiber contribution. The load corresponding to the first crack is slightly increased, but the main effect is a considerable increase in deformability and the amount of energy of the external load.

Although the use of different types and different amounts of fibers in cement, mortar, and concrete, is reported in many reviews and reports [6], limited studies have been conducted on fiber-reinforced cementitious materials using industrial waste fibers. Therefore, little information is available about the use of these kinds of fibers as reinforcing materials.

In developing countries, the availability of different categories of fibers in the market is considerably expensive or sometimes inexistent. To eliminate this lack of availability of fibers at reasonable prices, fibrous waste is used to reinforce cement-based materials. Furthermore, with the increase in population and industrial activities, the quantity of fiber waste generated from various industries will increase manifold in the coming years. So, this industrial waste can be effectively used for making good-strength and low-cost fiber-reinforced materials after exploring their feasibility. Otherwise, this fibrous waste can pose a danger to the environment and mankind by being left in industrial areas, especially in the absence of a clear policy for the successful management of industrial waste.

This investigation is an attempt to study the feasibility of using two kinds of locally available industrial fibrous waste for making fiber-reinforced cementitious materials (mortar and concrete). The types of fibrous waste considered in this study include: Steel fibrous waste and polypropylene fibrous waste are obtained from the machining waste of steel “chips” and polypropylene factories, respectively.

II. PROPOSED APPROACH

Due to the absence of a fibers industry in Algeria, and consequently the possibility of the integration of such fibrous waste as material of reinforcement for the cement-based matrices, our reflection was oriented towards the valorization of local steel and polypropylene fibrous waste (Figures 1 and 2), which are the most plentiful and susceptible to being integrated as material for strengthening the cement-based composites. This approach contributes effectively, on the one hand, to the cleanup of the environment and, on the other hand, to the reduction of the cost of composites while respecting the mechanical performances needed by the addition of the fibers.

In this context, this experimental study was carried out to get rational exploitation of this industrial waste generally available in steel workshops, local lathes, and steel transformation units. For this study, two types of fibrous waste (steel and polypropylene) were used, while manufactured and commercialised fibers were used for comparison purposes.



Fig.1. steel fibrous waste before mechanical treatment.

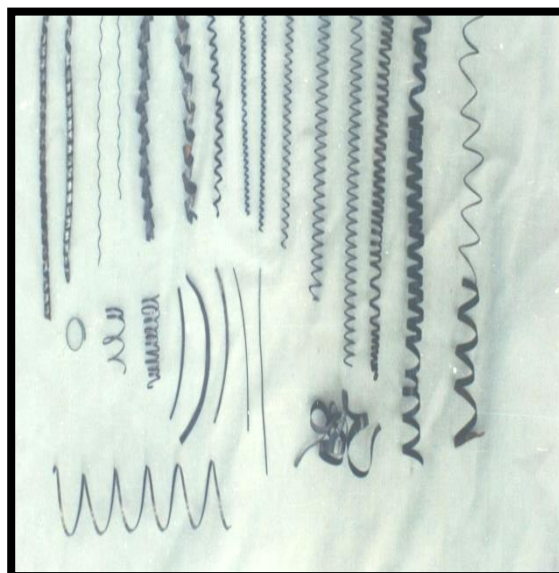


Fig .2. Different shapes of steel fibrous waste.

III. GEOMETRICAL CHARACTERISTICS OF STEEL FIBROUS WASTE

To study the concrete properties in a fresh and hardened state, steel fibrous waste was used in cementitious materials. A preliminary study was made to get a general idea of the proportions of the existing forms in a sample of fibrous waste, taken randomly. This statistical study aims to show the proportion of every existing shape. The table below gives the results and shows that 38.45% of fibrous waste is curved in shape.

IV. MATERIALS AND EXPERIMENTAL PROCEDURE

4.1. Materials

4.1.1. Cement. The cement used was type CPJ 45 (Cement Portland with Additive). This cement was chosen because of its wide availability and is largely used in the concrete construction sector in Algeria. Its density is 3.1, and its Blaine's specific surface area is 3600 cm²/g. Their chemical and mineralogical compositions are given in Tables 2 and 3 respectively.

4.1.2. Dune Sand (Fine Aggregate). The sand's equivalent, measured by the NF P18 standard [7], shows that the dune sand used in this experimental study is clean, siliceous, and contains very few fine dust or clay elements. The specific gravity and fineness modulus calculated were, respectively, 2.64 and 1.73.

4.1.3. Crushed Gravel (Coarse Aggregates). Crushed gravel is obtained by crushing limestone rock from the quarry; two fractions of 3/8 mm and 8/15 mm of coarse aggregates have been used in this experimental study. The specific gravity was 2.54.

4.1.4. Fibrous waste (Fibres). Different types of waste fibers from different industries, namely, lathe industry, wire winding, wire drawing industries, and steel transformation industrial units were collected and used in this investigation after mechanical treatment (pressing, cutting to small fibrous pieces). They have approximately 1.5 mm in diameter, 20÷50 mm in length, and with an average specific gravity of 7.5, while the polypropylene fibrous waste was collected from textile industries, with cut lengths varying from 2cm to 5 cm and a specific gravity of 0.90-0.91.

Table 1. Average proportion of every existing shapes

Shape						Arbitrary shape
Proportion %	5.97	16.40	2.69	27.75	38.45	8.74

Table 2. Chemical composition (%. by weight) of CPJ cement

Constituent, %	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ca O	Mg O	Ca O free	SO ₃	P.F	Insoluble
CPJ 45	19.48	5.06	3.72	61.95	0.85	1.63	1.1	3.44	1.26

Table 3. Mineralogical composition (%) for the cement used (according to BOGUE potential)

Compounds,	C ₄ AF	CSH ₂	C ₃ A	C ₃ S	BC ₂ S	C (Free)
CPJ 45	11.31	2.37	7.12	55.03	14.64	1.63

4.1.5. Admixture. The admixture product used in our research (less than 1%) is a super-plasticizer manufactured by the Algerian Granitex Company. This super-plasticizer, named “Medafluid SFA”, has a density of 1.2; a content of dry matter of 36.16 %, and a PH of the order of 7.

V. SPECIMEN PREPARATION AND CONDITIONNING

5.1. Mixing, Casting and Curing

Three concrete series of trials were carried out to investigate the suitability of fibrous waste as a reinforcing material for normal concrete. The first one concerns the concrete control in which the various parameters are illustrated in table 4.

Twenty-four test specimens of control concrete were made to choose a composition that gives the best results to estimate the benefits brought by the fibrous waste on the compressive strength.

Table 4. Different parameters of control concrete mixes

W/C	S/G	Slump(cm)	Air content (%)
0.5	0.51	6	1.75
0.5	0.49	6	1.6
0.57	0.70	6	1.78
0.5	0.76	6	1.65

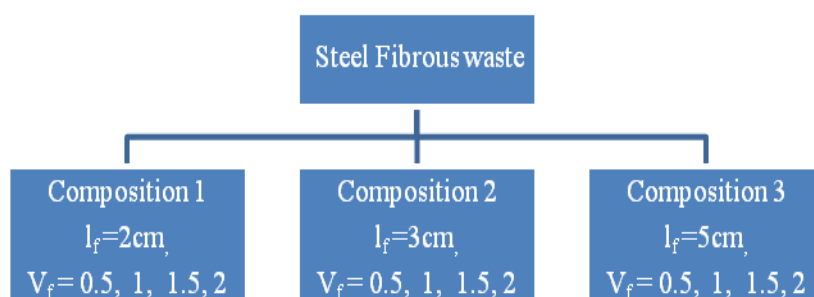


Fig 3. Flowcharts of the experimental

The second series consists of estimating the addition of steel fibrous waste in the concrete made from local materials according to the experimental program shown in Fig. 3, while the third series concerns the addition of commercialised fibers marketed in this concrete. Twenty-four test specimens were also made for every composition.

A total of twenty-four plains for control and seventy-two steel fibrous waste reinforced mixes were prepared. Materials were mixed in a linear-cum-flow mixer type 'O', which had a capacity of 0.043 cubic metres and a power-driven rotating pan and paddle. This mixer was sturdy enough for fibrous mixes, and a good uniformity of fibrous waste distribution could be achieved. The mixer was first loaded with coarse aggregate and a portion of the mixing water; after starting the mixer, sand, cement, and the rest of the water were added and mixed for 5 minutes. The fibers, in the case of fibrous mixes, were added following the addition of all mix ingredients.

Six 16×32 mm cylinders were cast from each mix. They were cast in cylindrical steel moulds and compacted on a vibrating table. Specimens were placed under a plastic sheet membrane for 24 hours at an

ambient temperature. Following removal from the moulds, they were individually sealed in plastic bags and stored in a room maintained at 24°C and 65% relative humidity until testing at an age of 28 days for compressive

5.2. Compressive tests

A compressive strength test was carried out according to NF.P. 18-406 [8] in a testing machine at 3000 kN, a loading rate of 0.5 kN/s. The different values of the compressive strength of concrete at 28 days are depicted in Figures 4a, 4b, and 4c. The results show that the addition of steel fibrous volume waste in the ratios of 0.5, 1, 1.5, and 2 by volume in the concrete will increase the compressive strength at different percentages. It is seen that the use of steel fibrous waste significantly increased the compressive strength of the normal concrete made of local materials by using an admixture.

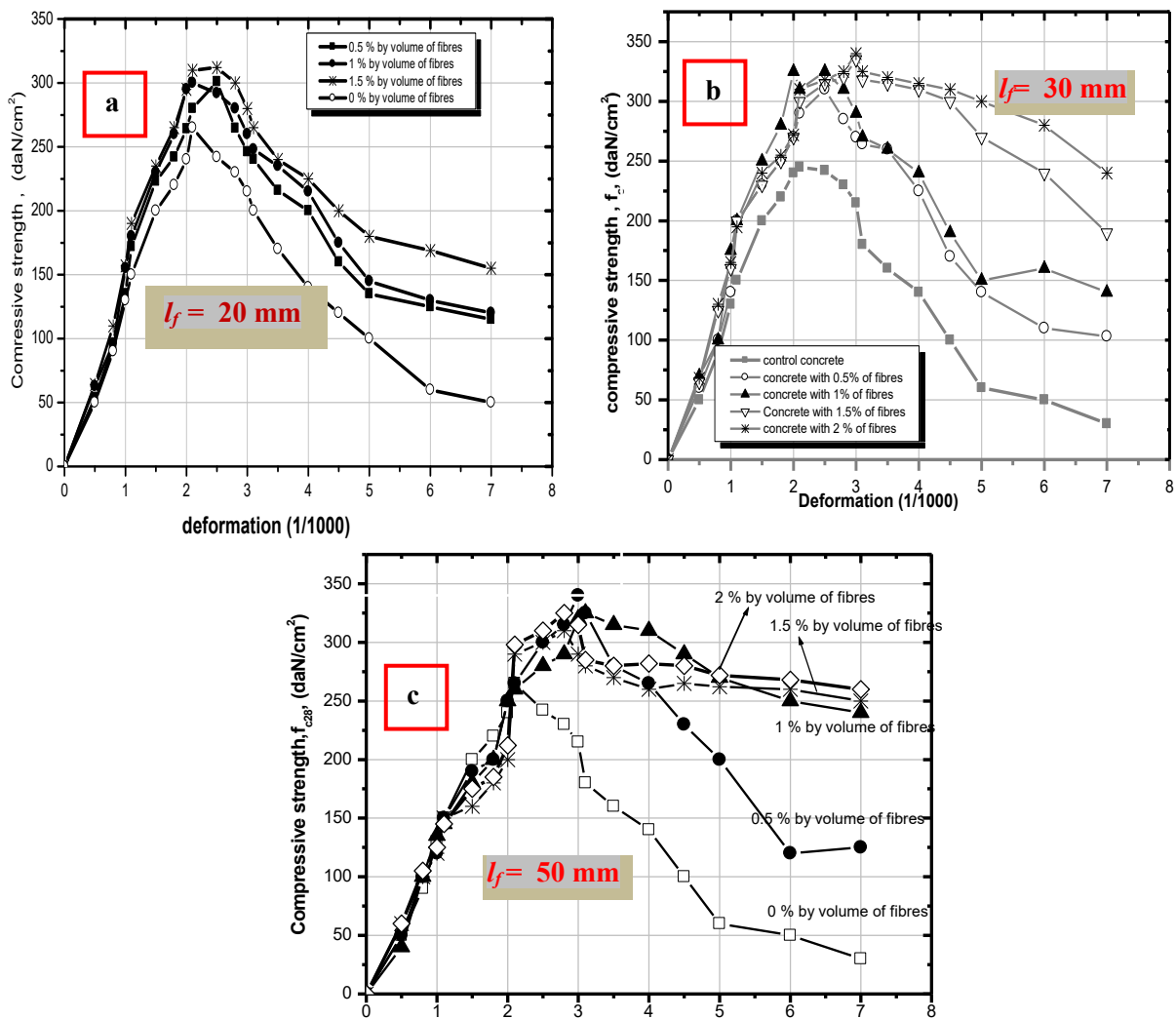


Fig 4. Relationship between compressive strength and deformation of steel fibrous waste reinforced concrete (a,b and c)

5.2.1. Effect of steel fibrous waste content on compressive strength. The curves obtained for long steel fibrous waste ($l_f = 50$ mm) and for short steel fibrous waste ($l_f = 20$ mm, $l_f = 30$ mm) are shown in Figures 4a, 4b, and 4c, in which three distinct phases have appeared .

5.2.2. The first phase corresponds to the elastic behavior of fiber concrete. In this part, the addition of the fibers does not bring any significant modification either in terms of the shape of the curve or in terms of modulus of elasticity. In other words, the modulus of elasticity is not modified, and this is irrespective of the quantity of fibres introduced into the concrete.

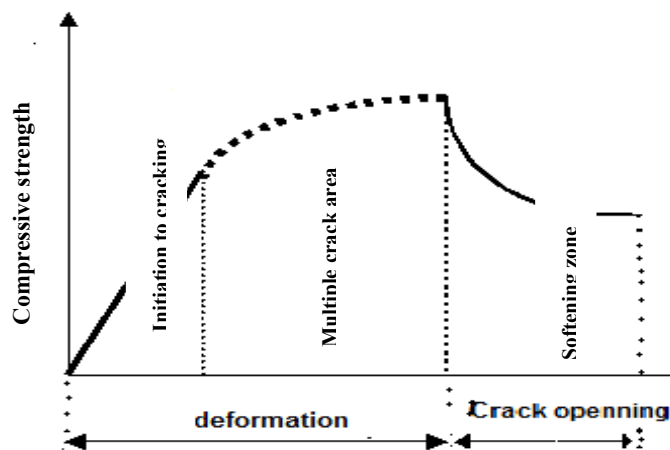


Fig 5. The three distinct phases

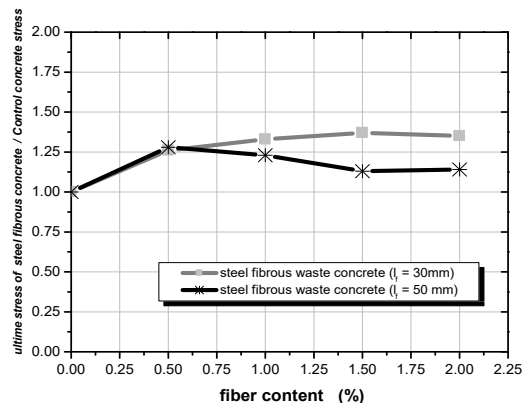


Fig 6 . Rate of increase in% of the ultimate stress for $l_f=50\text{mm}$, $l_f = 30\text{mm}$

The explanation given for this is that the fibres are not added to improve the concrete resistance but to affect the behaviour of the material once the matrix is cracked and thus control the cracking of steel fibrous waste concrete. This is possible due to the sewing effect created by the fibres through the cracks. This effect improves the energy absorption capacity of the material. During this relatively short phase, there is a rapid progression of the deformation due to the propagation of the pre-existing defects in the matrix.

In the second phase, which occurs immediately after the cracking of the matrix, the fibres contribute not only to the improvement of the ductility of the concrete material but also to a significant increase in the strength of the composite. This increase in stress is associated with the appearance of multiple cracks through the specimen, which requires a greater energy input to open the micro-cracks. Once the rupture is reached, the third phase begins with a rapid propagation of the cracks, and the stress decreases until the total break of the specimen.

It is noted that, in the second phase, a marked improvement in the ductility of the concrete is observed for the different quantities of fibres introduced. Figure 6 shows that with 0.5% fibre volume, a 25% increase in the ultimate fibre concrete stress is reached for both lengths ($l_f = 30\text{ mm}$, $l_f = 50\text{ mm}$), 0.5% volume, and the continuous increase for both fibres in a different way.

For fibres of length $l_f = 30\text{ mm}$, the increase is 32.6% with the fibre addition of 1% by volume and 36.7% with the addition of 1.5% volume of waste fibers. This increase remains within about 36% with the addition of a 2% volume of waste fiber. With long fibres ($l_f = 50\text{mm}$), this increase is 28% with the addition of 0.5% fibre in volume and 22.6% with the addition of 1% fibre volume. These percentages of the increase decreased to 13.2% with the addition of 1.5%.

The addition of a percentage greater than 2.5% of fiber volume creates a problem of manoeuvrability of waste fiber concrete and implicitly a problem of implementation. For this reason, every precaution must be taken when adding quantities exceeding 2.5% fiber volume with $l_f \geq 50\text{mm}$. It will be noted that the rates of increase of the ultimate compressive strength of the waste fiber concrete are shown in Figs 7a, 7b, and 7c for $l_f = 2\text{cm}$, 3cm , and 5 cm , respectively.

It can be said that the presence of fibers derived from fibrous waste increases the rupture strength of concrete reinforced with waste fibers. This gain, which depends on the concentration and the geometry of the fibers, reaches a maximum value of 25% for a length of 20 mm with a concentration of 2% by

volume, 37% for fibers of 30 mm length with a concentration of 2% by volume, and a value of 28.8% for fibers of length 50 mm with a concentration of 0.5% by volume. This means that the longest fibers have the lowest efficiency. In other words, with a length of 50 mm and a concentration of 2% of volume, the gain recorded does not exceed 13.25%.

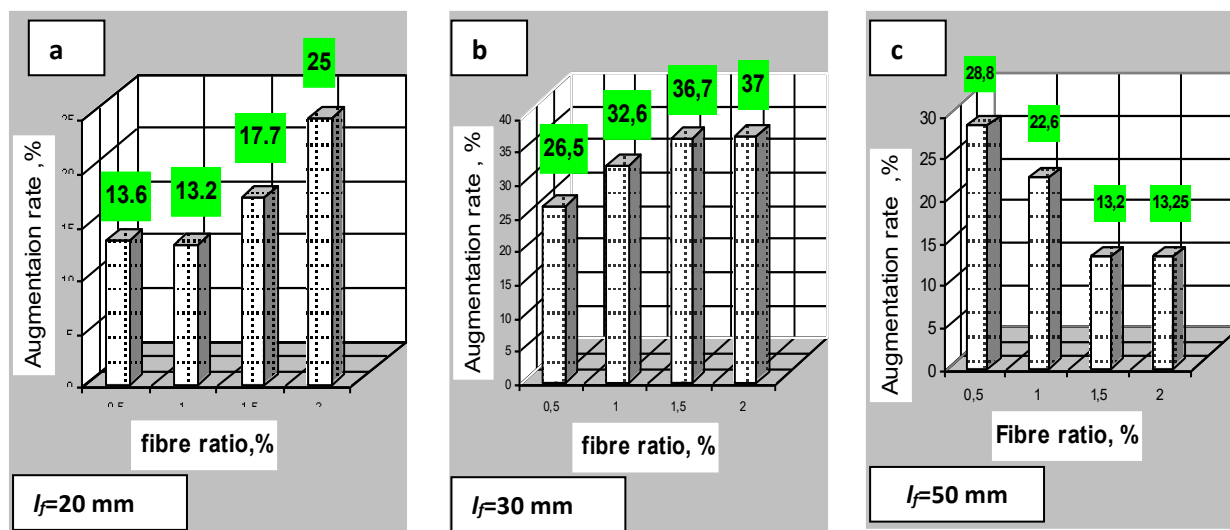


Fig 7. Augmentation rate in compressive strength

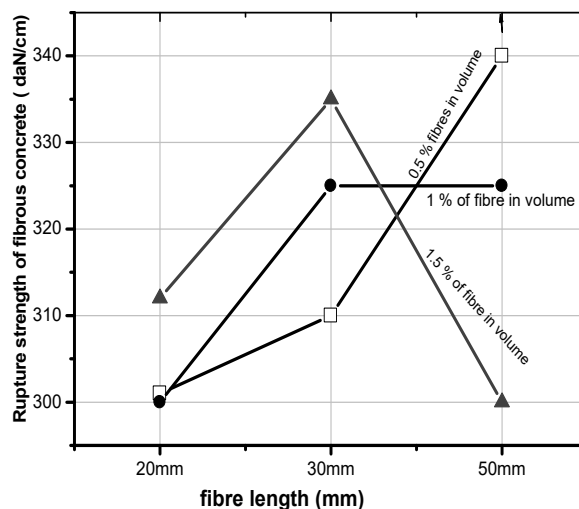


Fig. 8. Effect of fiber length on the rupture strength of waste fiber concrete

5.2.3. Influence of fibrous length on the compressive strength By comparing the results obtained with the fiber length of 20 mm, 30 mm, and 50 mm, it can be seen that the parameter (fiber length) has a great influence on the behavior of the concrete subjected to compression.

Curve 8 shows the tests prepared with waste fibers of lengths 20, 30, and 50 mm with a volume concentration of 0.5, 1, and 1.5%. It shows that the length of fiber affects the behavior of concrete in compression. The breaking strength increases with the length of the fibers.

Table 5 presents the results obtained with the three lengths used in our work. It will be noted here that the deformation corresponding to the maximum resistance increases by 19% for $l_f = 30\text{mm}$ and more than 42% for fibers of length $l_f = 50\text{ mm}$, whereas for $l_f = 20\text{ mm}$, no increase was observed.

To explain this, it must be said that the addition of fibers, in general and waste fibers in particular modifies the behavior of concrete in the fresh state (decreased workability, increase in air content, etc.) and the microstructure of the concrete in the cured state. Thus, the addition of a high percentage of fiber will increase the stiffness of the solid phase. This will lead to contacts and clutter reactions, which increase the workability time, which translates into a slowing down of the flow of the fresh concrete. In this case, there are two cases: either sufficient energy is used to be able to distribute all the fibers in the matrix with an excess of vibration, or in this case, an increase in the ultimate compressive strength will be obtained. Either the same operating conditions as the control concrete are used, or in this case, a slight decrease in the ultimate compressive strength will be observed, as several researchers have reported [9, 10].

Table 5. Some results of steel fibrous waste concrete

	Fiber length								
	$l_f = 20\text{ mm}$			$l_f = 30\text{ mm}$			$l_f = 50\text{ m}$		
Fibre content %	0.5	1	1.5	0.5	1	1.5	0.5	1	1.5
Slump (cm)	7	6	4	6	4	3	6	3	1.5
air content (%)	5.4	5.1	5	5.1	4.8	4.6	4.9	4.8	3.5
Rupture strength (daN/cm ²)	301	300	312	310	325	335	340	325	300
Corresponding deformation $\times 10^{-3}$	2.5	2.1	2.5	2.5	2.5	3	3	3.1	2.5

VI. SHRINKAGE OF MORTAR BY USING FIBROUS WASTE

6.1. Materials and procedure

The main aim of this part of the study is to evaluate the influence of the fibrous waste used (metallic and polypropylene) on the phenomenon of cracking caused by shrinkage in a mortar prepared from the sand of a dune (important shrinkage). The method described in this part to evaluate the restrained shrinkage consists of using a rigid ring made of steel that is coated with mortar. After hardening, the sample is submitted to the desired conditions to evaluate the effect of restrained shrinkage. In a given moment, the resistance to cracking, the number of cracks, and the total maximal widths are measured and compared to what is obtained with plain mortar.

The free shrinkage tests were carried out on prismatic test specimens of dimension (4×4×16 cm) whose Plexiglas plates were fixed. To improve the contact mortar plates, the latter have been perforated (in the middle) and studs fixed. The first stud (the upper end) will come to butt a comparator, and the second (lower end) will be arranged on another plate glued to a motionless frame, ensuring a free rotation of the test specimen submitted for testing (Figure 9). The precision of our measurement comparator is 0.01 mm. The restrained shrinkage has been evaluated by the test with the ring, which consists of using a steel ring (Figure 10) with a thickness of 8mm, an external diameter of 143 mm, and internal diameter of 127 mm, and a height of 44 mm, while the cementing material ring has an external diameter of 127mm, an internal diameter of 83 mm, a 44 mm height, and a 22 mm thickness (Figure 10).

The casting in two layers in this circular mould is carried out using a steel shaft. Three rings were made for each test. The specimens prepared were cured at 20°C for 24 ± 1 hour in a wet condition. The apparatus allows a release from the mould and an easy cure of the test specimens.

Those specimens submitted for testing with the ring were cured for 24 hours, and then they were placed in an environment similar to that of free shrinkage until the formation of cracks. For better viewing of the

cracks and the microscopic crack propagation, the test specimen submitted for testing with the ring was covered by a white painting.

Cementitious mortar was employed for these tests using superplasticizer admixture to maintain constant workability without varying the quantity of mixing water among the various mixes.

Materials used in the tests to evaluate the free and restrained shrinkage are: sand of dune grade 0/5; cement CPJ45; mortar of fraction 1/3 ($C:S = 1:3$); $E:C = 0.58$ (to have a constant and normal workability); fibres (fibrous waste of metal and polypropylene); and superplasticizer: 1 %.

6.2. Results and discussions

6.2.1. Free Shrinkage.

The average curves of the shrinkage according to time (days) are presented in Figures 11a and 11b. It is noticed, according to figures 11a and 11b, that the steel fibrous waste decreases the shrinkage. This reduction is about 16 % compared to a mortar without fibers at 28 days, for a proportion of 0.5 % of the volume of fibers. But, with 1% of the volume of fibers, this reduction ranges from 11 to 13%. Regarding the experimental test results, we have noted the maximum percentage of fibers to reduce the effect of shrinkage is 1.5 %, beyond this percentage of volume of fibers; the presence of fibers in a mortar is not significant.

These results confirm those already obtained from former studies [11] by using fibers marked under various types, to know that deformations of shrinkage are generally smaller for the fiber-reinforced mortars compared to those of the mortar without fibers. This reduction is affected by several parameters, such as the duration of drying, the shape, and the quantity of fibers. The loss of weight of the test specimens was checked. The results are illustrated in Figure 11c. It is noted that the weight loss is more significant for the fibre mortar than for the mortar without fibers. The presence of dispersed fibers increases the size of pores in material as well as volume and decreases, thus, the intensity of the capillary pressures by facilitating the evaporation of water. On the other hand, according to the experimental tests, the use of fibrous polypropylene waste, with a percentage higher than 1% in the volume of fibers, does not give any improvement to the free shrinkage of mortar. This result confirms those obtained by other researchers [12, 13, 14]. It is noted, according to Figure 8, that there is an increase in the shrinkage of approximately 20% for a content of 1 % in the volume of fibers. But this increase reaches 30% for a content of 1.5% in the volume of fibers. The increase in the free shrinkage of mortar reinforced with polypropylene fibers may be explained by the fact that these fibers are thin, very flexible, and generally coated by layers of fines which causes the increase in free shrinkage by increasing the percentage of fibers.

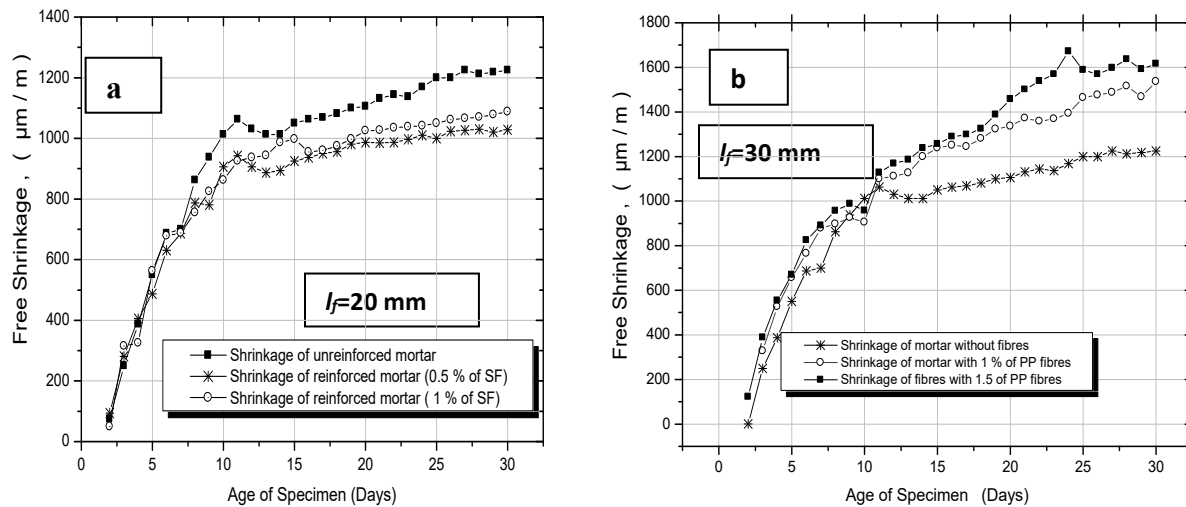


Fig 11(a, b). Free shrinkage of mortar without and with fibrous waste

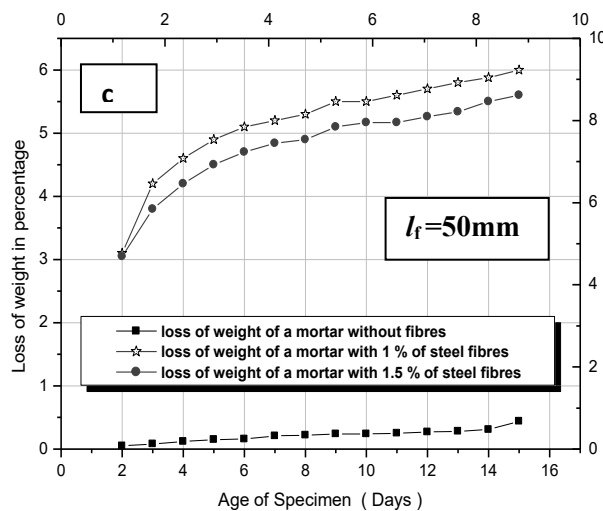


Fig 11c. % loss weight of mortar without and with fibrous waste

6.2.2. Restrained shrinkage

The second part of the experiment program was oriented towards the study of the effect caused by the introduction of fiber content on the cracking tendency of the mortar. The mixes of mortar were prepared with constant workability by using a superplasticizer to always have the same quantity of mixing water, and therefore the same water/cement ratio.

The cracking resistance of the mortar was evaluated by the ring test. It was evaluated by the number of days and the thickness of the crack. Figures 12 and 13 give an idea of the effect of the fiber addition in a cementing matrix like that of a mortar. In all the cases, we observed the formation of macrocracks whose thickness varied from 0.6mm to 0.8 mm. Also, two deep macrocracks on the fourth day have been noted, as seen in Figure 10. But with 0.5 % of steel fibers, microscopic cracks have been observed (seen with a magnifying glass) after 9 days. Whereas with a content of 1 % of steel fibers, the appearance of the microscopic cracks was not observed at an early age of less than two weeks. By adding 1.5% of steel

fibers many microscopic cracks have appeared after more than 4 weeks. The cracks appear to be very thick (less than 0.1mm) and less deep.

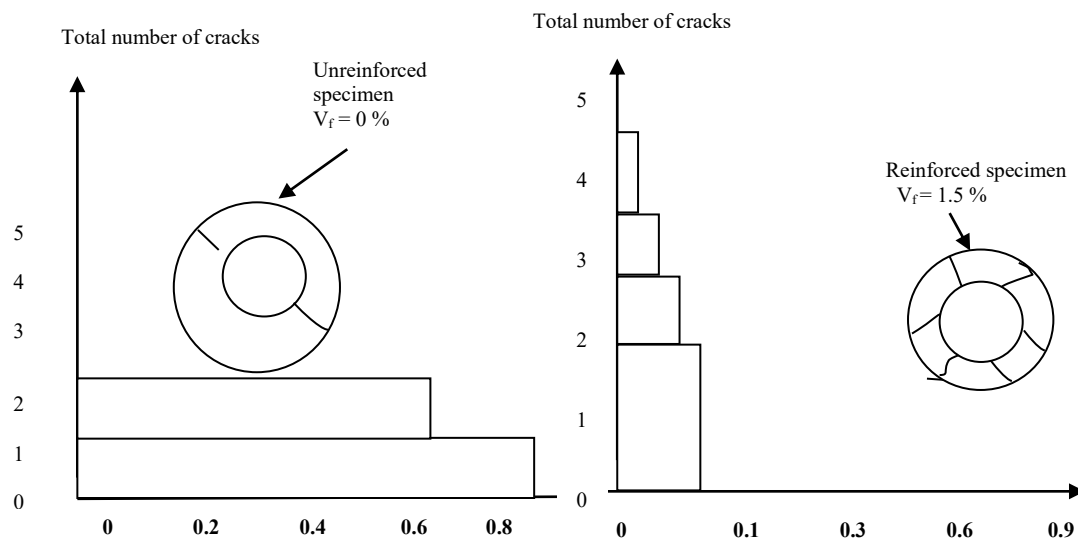


Fig 12. Results of the tests showing the number and the thickness of the cracks of a mortar without (left) and with (right) fibrous waste.

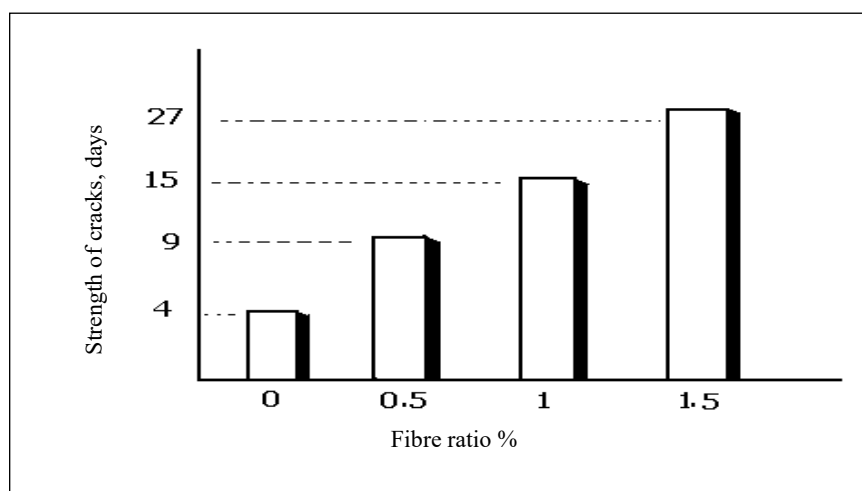


Fig 13. Typical example from the tests showing the strength of cracks

Steel fibers are commonly used in cement-based materials to improve their mechanical properties. But; little information is available on the use of fibrous waste to reinforce cementitious materials.

With the same mixture of mortar, specimens were prepared by adding polypropylene fibers. It is announced here that the tests of restrained shrinkage (ring tests) were carried out by using percentages of fibers of 0.5 and 1%. The observation from the test series confirms that the microscopic cracks in this kind of shrinkage did not appear before 4 weeks. This fact also confirms the results of recent research [11], which shows that the introduction of a fiber content equal to or higher than 1% makes evidence that cracking processes are completely illuminated. The results obtained are illustrated in Table 6.

Table 6. Effect of polypropylene fibrous waste on restrained shrinkage with constant workability

N° of mix	Cement	sand	Water	Admixture %	Fibres	Cracking strength (days)
M01EP	1	2	0.5	1	0 %	Micro-cracks on 4 days
M02EP	1	2	0.5	1.25	0.5%	No cracks after 35 days
M03EP	1	2	0.5	1.75	1 %	No cracks after 56 days

VII. CONCLUSION

The main conclusions drawn from this experimental work are:

- It is possible to use steel and polypropylene fibrous waste as reinforcing elements in the concrete to improve some mechanical properties on the one hand and develop fibrous waste on the other hand, which is, in the majority of cases, thrown in urban zones, leading to environmental and human damage.
- Compressive and shrinkage tests were performed on the concrete and mortar specimens with and without those fibrous waste inclusions, and the testing results were reported and compared. From this study, it was found that the compressive strength and both free and restrained shrinkage were improved with fibrous waste addition. This means that the benefit brought by this kind of fibrous waste was not only to remove this kind of waste but also to have great potential to become a cost-effective resource and provide performance enhancement for concrete material in the building industry, where the use of these fibrous wastes is possible and can bring enough strength to the mechanical properties.
- In addition to the improvement in compressive strength and shrinkage phenomena; greater deformation ability was observed for concrete and mortar reinforced by this fibrous waste.
- Unlike much research in the field of fiber-reinforced concrete, which resulted in a decrease in compressive strength, this experimental research carried out by using steel and polypropylene fibrous waste leads to an improvement in both compressive strength and shrinkage phenomena. However, this conclusion is based on a limited number of test specimens; further research is being done with more testing specimens and dosage rates to confirm these benefits.

REFERENCES

- [1] Beddar, M, 2002, Steel fibre reinforced concrete: Past, Present and Future . *Technical report*, National Project, pp 9
- [2] Fattuhi, N, I, April 1974 Properties of steel fibre reinforced cement-based matrices Thesis submitted to the university of shellfield for degree of *M.Eng* pp 357.
- [3] Alghamdi , M, 1984 , Effect of matrix composition on SFRC properties, *PhD thesis* submitted to the university of Michigan, U.S.A, pp 276.
- [4] Hughes, B.P et al, sept 76, The workability of steel reinforced concrete *Magazine of concrete* Vol **28**, N° 96 , pp 157-61 .
- [5] Brandt, A.M, 1995, Cement –based Composites: materials, Mechanical properties and performance. E & FN Spon, London, pp 470.
- [6] Beddar, M. April 2004 Fibre reinforced Concrete : Past, Present and Futur *Concrete magazine*, Vol **38**, N° 4, U.K
- [7] AFNOR N.F.P. 18-301, dec 1982, Granulats naturels pour le béton hydraulique,
- [8] AFNOR N.F.P. 18-406, dec 1981, Essai de compression,
- [9] Dardare, J. Contribution à l'étude du comportement mécanique des bétons renforcés avec des fibres de polypropylène *RILEM Neville (A)*, 120, communication 5.2, pp.227-235.
- [10] Gopalaratnan, V.S.; Shah, S.P, May-June 1985 , Softening Response of plain concrete in Direct Tension. *ACI Journal*, Vol. **82**, N° 3, pp 310-323
- [11] Mesbah, H.A; Buyle, B. and Siwak, J.M, 1996 , Influence de l'ajout des fibres sur le retrait des mortiers a base de granulats recycles. 2° *Colloque International Francophone sur les béton renforcés de fibres métalliques*, Toulouse, pp163-172.
- [12] Edington, J.; Hannant, D. J; Williams.R.I.T. 1974. Steel Fibre Reinforced Concrete; G.B.Building . *Res.EST-Current paper*, c.p.69/74
- [13] Elhachem , M. , 1990 . Etude de l'influence de la fibre de fonte sur le retrait et le fluage du béton.*Thèse de Doctorat*, Ecole Centrale, Paris.
- [14] Houari , H. , 1993 Contribution à l'étude du comportement du béton renforcé de fibres soumis à l'action des charges maintenues et cycliques. *Thèse de Doctorat*, INSA Lyon,

Contribution of Complex Fluid Behavior and Gravitational Effects to the Onset of Flow Regime Shifts

Bensilakhal Sarah¹, Rebhi Redha², Hadidi Nouredine³, Ould larbi Amina⁴, Lounis Selma⁵

¹ Department of Process Engineering and Environment/LME-materials and environment laboratory, university of medea,

ssarah.bbens@gmail.com

²Department of Mechanical Engineering /LERM-Renewable Energy and Materials Laboratory, university of medea,

Redha.Rebhi@yahoo.com

³ Department of Process Engineering and Environment/LME-materials and environment laboratory, university of medea,

hadidi.nouredine@univ-medea.dz

⁴ Department of Process Engineering and Environment/LME-materials and environment laboratory, university of medea,

mina63020@gmail.com

⁵ Department of Process Engineering and Environment/LME-materials and environment laboratory, university of medea,

lounisselma82@gmail.com

Abstract-The purpose of this work is to examine the impact of shear-thinning behavior of complex fluids on the convection with double diffusive in a horizontal porous enclosure. The structure of the essay is as follows...The shear-thinning behavior of the fluid is described by the Carreau-Yasuda model, which includes the effect of the rheological parameters of the fluid. Constant fluxes of heat and mass are imposed on the horizontal walls of the enclosure while the vertical walls are assumed adiabatic and impermeable. An approximate analytical solution is derived on the basis of the parallel flow approximation, and the Carreau-Yasuda model. An approximate analytical solution is derived on the basis of the parallel flow approximation, and the Carreau-Yasuda model with the Boussinesq approximation, energy and species transport equations are solved numerically using the finite difference method with a time-accurate scheme. Overall, the Carreau-Yasuda rheological parameters have a strong influence on the thresholds of convection.

Keywords-Rheological Fluid, Porous Structures, Non-Newtonian Fluid, Carreau-Yasuda Model.

I. INTRODUCTION

The double diffusive by natural convection through porous media saturated with Newtonian and non-Newtonian fluids has been subject of many investigations due to its relevance in many natural and technological applications such as: the food industry, filtration processes, polymer engineering, petroleum drilling, biomedical, cosmetic, molding processes, geothermal exploit, geothermal exploitation, Newtonian fluid with high shear power. Over the past years considerable research efforts have been devoted to the study of natural convection in differentially heated and salted cavities filled with Newtonian fluids. Goyeau et al.[1] studied natural convection in rectangular porous cavity, they proposed correlations for heat and mass transfer in the cooperating case. Gobin and Bennacer[2] have investigated numerically the two-dimensional double diffusive natural convection in an enclosure filled with a binary fluid subjected to horizontal temperature and concentration gradients with cooperating buoyancy forces, the boundary layer

regime was studied. Other investigations have been made of the double diffusive convection in superimposed horizontal layers, generally a fluid on top of a porous layer. The motion in the fluid layer is governed by the Navier-Stokes equation. Numerical studies of heat and mass transfer by natural convection in a square cavity filled with gas mixture, the influence of the buoyancy ratio varied from 0 to 2 on heat transfer also is analyzed, treaded by Valencia-Lopez and Ochoa-Tapia [3], Serrano-Arellano et al [4]. The stability of the rest state and convective state within a shallow porous layer, was studied by Mamou [5]. The thresholds for the onset of overstability and Hopf bifurcation were predicted as a function of the governing parameters. Is was reported that both thresholds were significantly affected by the acceleration coefficient and the normalized porosity of the porous medium. The effect of the non-Newtonian behavior on the onset of convection, fluid flow, temperature field, and heat transfer were examined by Lamsaadi et al. [6] through an analytical and numerical study for two-dimensional steady-state buoyancy driven flow of a non-Newtonian power law fluid confined within a shallow rectangular horizontal cavity uniformly heated from below, while the vertical sides were considered adiabatic.

In this study the influence of shear-thinning effects on the double-diffusive natural convection in porous layer horizontal enclosure filled with a non-Newtonian fluid was considered. Neumann boundary conditions are applied on the horizontal walls of the cavity. The shear-thinning behavior of the fluid is described by the Carreau-Yasuda model. The critical Rayleigh number for the onset of subcritical convection was determined analytically using the parallel flow approximations. Numerical results, such as the flow function, vertical velocity, temperature and concentration profiles, as well as the Nusselt and Sherwood transfer rates, are presented for different values of the control parameter.

II. GOVERNING EQUATIONS

The schematic diagram of the system under consideration is shown in Fig. 1. The configuration considered in this study is a horizontal porous layer of width and height , saturated with non-Newtonian shear-thinning fluid. Neumann boundary conditions are applied for temperature and concentration on the horizontal walls of the layer, while the left and right side walls are insulated. The porous medium is assumed to be isotropic and homogeneous. The density variation with temperature and concentration are described by the equation as by the equation as

$$\rho = \rho_0 [1 - \beta_T (T' - T_0') - \beta_S (S' - S_0')]$$

where β_T and β_S are thermal and concentration expansion coefficient respectively, ρ_0 being the fluid mixture density at temperature and concentration, which temperature and concentration at the origin of the coordinate system.

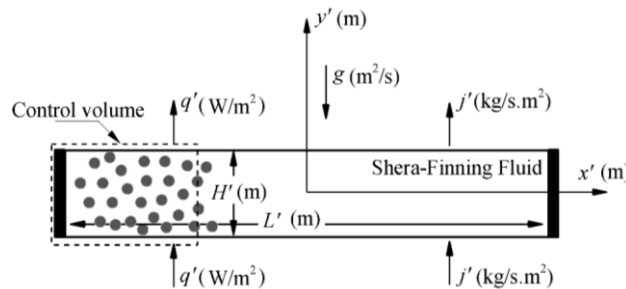


Fig. 1. Schematic representation of the system and coordinate system.

In terms of the above definitions, the dimensionless governing equations, written in terms of stream function, temperature and concentration, are as follows:

$$\frac{d}{dx} \left(\mu_{cy} \frac{d\psi}{dx} \right) + \frac{d}{dy} \left(\mu_{cy} \frac{d\psi}{dy} \right) = -R_T \left(\frac{\partial T}{\partial x} + \phi \frac{\partial S}{\partial y} \right) \quad (1)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial \psi}{\partial y} \frac{\partial T}{\partial x} - \frac{\partial \psi}{\partial x} \frac{\partial T}{\partial y} = \nabla^2 T \quad (2)$$

$$\varepsilon \frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial \psi}{\partial y} \frac{\partial S}{\partial x} - \frac{\partial \psi}{\partial x} \frac{\partial S}{\partial y} = Le^{-1} \nabla^2 S \quad (3)$$

In the present investigation the behavior of the non-Newtonian fluid is described by the Carreau-Yasuda phenomenological constitutive model where the viscosity (μ_{cy}) is given by:

$$\mu_{cy}(\dot{\gamma}) = s + (1-s) \left[1 + (\lambda_{cy} |\dot{\gamma}|)^a \right]^{(n-1)/a} \quad (4)$$

where μ_{cy} is the dimensionless shear-dependent apparent viscosity, $s = \mu_\infty / \mu_0$ is the ratio of infinite-to zero-shear-rate viscosities and $\dot{\gamma}$ is the dimensionless rate-of-strain is defined as follows:

$$\dot{\gamma} = \left[4 \left(\frac{\partial^2 \psi}{\partial x \partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (5)$$

The corresponding dimensionless boundary conditions applied on the walls of the system are:

$$x = \pm \frac{A}{2} \quad u = \psi = 0 \quad \text{and} \quad y = \pm \frac{1}{2} \quad v = \psi = 0 \quad (6a)$$

$$x = \pm \frac{A}{2} \quad \frac{\partial T}{\partial x} = \frac{\partial S}{\partial x} = 0 \quad \text{and} \quad y = \pm \frac{1}{2} \quad \frac{\partial T}{\partial y} = \frac{\partial S}{\partial y} = -1 \quad (6b)$$

In the above equations one notice the presence of four dimensionless parameters, namely the thermal Rayleigh number, R_T , the buoyancy ratio, ϕ , the Lewis number, Le , the normalized porosity, ε , and the aspect ratio of the enclosure, A , expressed as:

$$R_T = \frac{\rho_0 \beta_T \Delta T' KH'}{\mu_0 \alpha}, \quad \phi = \frac{\beta_S \Delta S^*}{\beta_T \Delta T^*}, \quad Le = \frac{\alpha}{D} \varepsilon = \frac{\phi}{\sigma}, \quad A = \frac{L'}{H'} \quad (7)$$

The heat and mass transfer rates at any section, x , is expressed in terms of the Nusselt, Nu , and Sherwood, Sh , numbers defined as

$$Nu^{-1} = \Delta T = T_{(0,-1/2)} - T_{(0,1/2)} \quad (8a)$$

$$Sh^{-1} = \Delta S = S_{(0,-1/2)} - S_{(0,1/2)} \quad (8b)$$

The average Nusselt and Sherwood numbers are computed using the following integral:

$$Nu_m = A^{-1} \int_{-A/2}^{A/2} Nu dx \quad (9a)$$

$$Sh_m = A^{-1} \int_{-A/2}^{A/2} Sh dx \quad (9b)$$

III. NUMERICAL SOLUTION

In order to perform numerical simulations, the differential nonlinear equations governing the problem must be converted to algebraic equations. Therefore, the equations are discretized using a second-order central finite difference schema in time and space with uniform grid size. The algebraic equations were solved by a line-by-line iterative method. A double precision FORTRAN code was developed for double diffusive simulations in a two-dimensional porous layer saturated by non-Newtonian fluid. The method sweeps the domain of integration along the x - and y -axes and uses tridiagonal matrix inversion to solve the resulting system of equations. The convergence criterion for the governing equation is

$$\left| \sum_{i,j}^m \psi_{i,j}^{k+1} - \sum_{i,j}^m \psi_{i,j}^k \right| / \left| \sum_{i,j}^m \psi_{i,j}^{k+1} \right| \leq 10^{-8}$$

where $\psi_{i,j}$ is the stream function value at the node (i, j) at the iteration.

IV. NANOLINEAR ANALYTICAL

For double-diffusion convection in a horizontal cavity having a large aspect ratio, several authors developed an approximate analytical solution based on the parallel flow approximation. For the present problem according to this approach, the convective flow in the central region of the enclosure is assumed to be parallel to the horizontal walls.

the following system of ordinary differential equations:

$$\frac{d}{dy} \left(\mu_{cy} \frac{d\psi}{dy} \right) = -R_T (C_T + \phi C_s) \quad (10)$$

$$\frac{d^2 T}{dy^2} = C_T \frac{d\psi}{dy} \quad (11)$$

$$\frac{d^2 S}{dy^2} = Le^{-1} C_s \frac{d\psi}{dy} \quad (12)$$

and the apparent viscosity (μ_{cy}), is now given by:

$$\mu_{cy}(\dot{\gamma}) = s + (1-s) \left[1 + (\lambda_{cy} |\dot{\gamma}|)^a \right]^{(n-1)/a} \quad (13)$$

where the shear rate ($\dot{\gamma}$), "(5)", is reduced to:

$$\dot{\gamma} = \left| \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} \right| \quad (14)$$

the heat and species transport across any transversal section, are given by:

$$C_T = 2 \int_0^{1/2} u(y) \theta_T(y) dy \quad \text{and} \quad C_s = 2 Le \int_0^{1/2} u(y) \theta_s(y) dy$$

Hence, the momentum equation, "(10)", was reduced:

$$\frac{d^2 \psi}{dy^2} = -\mathcal{H} \quad (15)$$

where: $\mathcal{H} = R_T (C_T + \phi C_s) / \mu_{cy}$.

The solution of "(10)", satisfying the boundary conditions set in "(6)", is obtained as follow:

$$\psi(y) = \mathcal{H} \left(\frac{1}{8} - \frac{y^2}{2} \right) \quad (16)$$

From "(13)", the viscosity apparent, μ_{cy} , can be written as follows:

$$\mu_{cy} = s + (1-s) \left[1 + (\lambda_{cy} |\mathcal{H}|)^a \right]^{n-1/a} \quad (17)$$

Upon solving "(11)" and "(12)", the temperature and concentration profiles are obtained by the following solutions:

$$T(x, y) = C_T x - C_T \mathcal{H} \left(\frac{y}{8} - \frac{y^3}{6} \right) - y \quad (18)$$

$$S(x, y) = C_s x - Le C_s \mathcal{H} \left(\frac{y}{8} - \frac{y^3}{6} \right) - y \quad (19)$$

The constant gradients of temperature and concentration along the x -direction, C_T and C_s respectively, are expressed as:

$$C_T = \frac{10\mathcal{H}}{120 + \mathcal{H}^2} \quad \text{and} \quad C_s = \frac{10Le\mathcal{H}}{120 + Le^2 \mathcal{H}^2} \quad (20)$$

The local Nusselt, Nu , and Sherwood, Sh , numbers expressions, "(14)", are reduced to:

$$Nu = \frac{12\mathcal{R}^2 + 1440}{2\mathcal{R}^2 + 1440} \quad \text{and} \quad Sh = \frac{12\mathcal{R}^2 Le^2 + 1440}{2\mathcal{R}^2 Le^2 + 1440} \quad (21)$$

V. RESULTS AND DISCUSSION

The results presented in this paper are focused of the effect of the Carreau's Yasuda parameters on the convective flow also on heat and mass transfer rate and near the onset of convection and on the threshold of subcritical as well as the overstable and supercritical convection, up to Hopf bifurcation. The effect of the governing parameters on the convective heat and mass transfer, as predicted by the nonlinear parallel flow approximation, is now compared with the numerical solutions results obtained by solving the full governing equations.

Further comparison between the analytical, bases on the parallel flow approximation, and the numerical solutions for the horizontal velocity component, u , temperature, T , concentration, S , and apparent viscosity, μ_{cy} , profiles respectively, at the mid-width of the porous layer ($x=0$) are illustrated in Figs. 2(a)-(d). The results were obtained for $R_T = 50$, $Le = 5$, $\phi = -0.1$, $\varepsilon = 1$ and various values of the power-law index, n . From these figures, it is clear that the parallel flow solution which depicted in solid lines are in excellent agreement with the numerical solution, presented by solid circles. Fig. 2(a) indicates the vertical profiles of the horizontal velocity, u , is symmetrical with the respect to y . The velocity is maximum on the wall ($y = \pm 0.5$) where the shear-thinning is nullified as the buoyancy forces are equal and opposing. Also the velocity, u , decreases sharply from ($u = u_{max}$) at the wall ($y = -0.5$) toward $u = 0$ at the center of the cavity ($y = 0$) and then drops back to ($u = -u_{max}$) at the wall ($y = 0.5$). Upon increasing the value of the power-law index, n , it is seen that the velocity in the vicinity of the walls is considerably reduced, as the fluid becomes more and more shear-thinning ($n < 1$). The effect of, n , on the temperature and the concentration profiles is illustrated in Figs. 2(b) and (c). The evolution of the temperature and concentration profiles is quite similar to that discussed in Fig. 2(a) while studying the evolution of, u . It is seen from Figs. 2(b) and (c) the temperature and concentration near the solid walls are promoted with a decrease of the power-law index, n . Also the temperature (concentration) difference between along the vertical walls ($y = \pm 0.5$) decreases with decreasing, n , causing a significant increase of the convective heat (Nu) and mass (Sh) transfer rates. According to Eq. (17) it is seen from Fig. 2(d) the apparent viscosity, μ_{cy} , remain constant as the shear rate remains constant across the layer along the vertical axes.

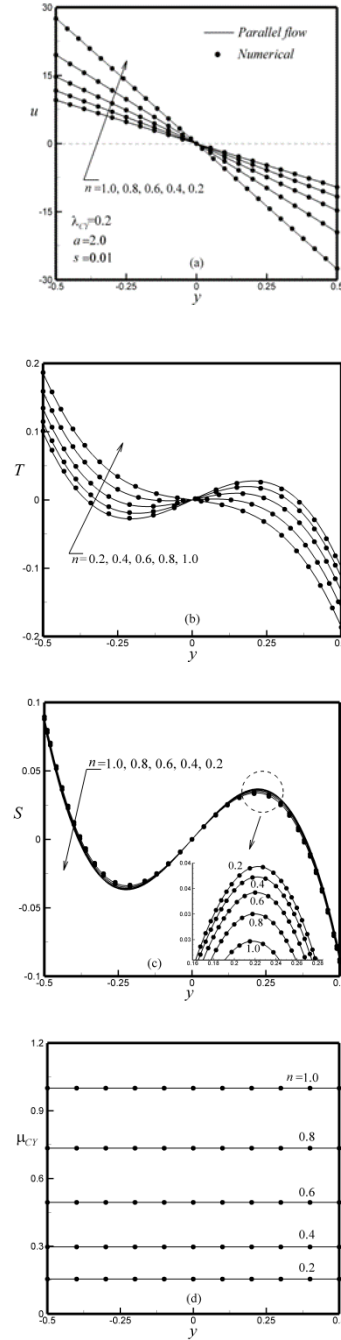


Fig. 2. Effect of the power-law index, n , on (a) horizontal velocity, u , (b) temperature, T , (c) concentration, S , and (d) apparent viscosity, μ_{CV} , profiles at the mid-width of the porous layer ($x=0$) for $R_T = 50$, $Le = 5$, $\varphi = -0.1$, $\lambda_{CV} = 0.2$, $a = 2$, $s = 10^{-2}$ and $\varepsilon = 1$.

The influence of the Lewis number, Le , on the subcritical Rayleigh number, R_{TC}^{sub} , is depicted in Fig. 3(a) for $\lambda_{CV} = 0.2$, $a = 2$, $s = 10^{-2}$, $\varphi = -0.1$, $\varepsilon = 1$ and various values of the power-law index, n . The results, depicted by solid lines in the graph, correspond to the thresholds of a subcritical unicellular, R_{TC}^{sub} , and the dot-dot-dashed lines to corresponds to the supercritical Rayleigh number, R_{TC}^{sup} . The graphs clearly illustrate the fact that the Lewis number has a dominant effect on the critical Rayleigh numbers (R_{TC}^{sub} and R_{TC}^{sup}). It is observed that, as the Lewis number decreases from 10^3 to 2.16, the subcritical Rayleigh number, R_{TC}^{sub} , increases, research a peak, $R_{TC}^{sub} = 16$ at $Le = 3.2$, and then decreases toward $R_{TC}^{sub} = R_{TC}^{sup} = 15.32$ as $Le \rightarrow Le_c(2.16)$. Below this value ($Le \leq Le_c(2.16)$) the subcritical convection is not possible. This follows

from the fact that when the Lewis number is small enough, the mass transfer process across the porous layer is ruled by pure diffusion. The onset of motion is then supercritical (R_{TC}^{sup}) in the range ($Le_c(2.16) \leq Le \leq 10^{-2}$). A decrease in the power-law index, n , from ($1 \leq n \leq 0.2$) leads in response as depicted in Fig. 3(a). A bird eye view on the graphs indicates that for a given value of the Lewis number, the subcritical Rayleigh number continuously with a decrease of n . The peaks of, R_{TC}^{sub} , for different values of, n , are seen to vary considerably. Thus for $n = 1$ the peaks occur at about $Le = 3.2$ while for $n = 0.2$ they occur at approximately $Le = 1.6$. Finally, it is observed that the power-law index, n , also affects the range of occurrence of Le_c . Fig. 3(b) shows the variation of the critical Lewis number, Le_c (i.e., when $R_{TC}^{sub} = R_{TC}^{sup}$), as function of n . It is found that, upon decreasing the power-law index between ($0.56 \leq n \leq 1$), the critical Lewis number Le_c decrease sharply. Below $n \leq 0.56$, the threshold of supercritical convection (R_{TC}^{sup}) is disappears completely and the only existing critical Rayleigh number is the subcritical one (R_{TC}^{sub}), as illustrated in Fig. 3(a) for $n = 0.4$ and 0.2

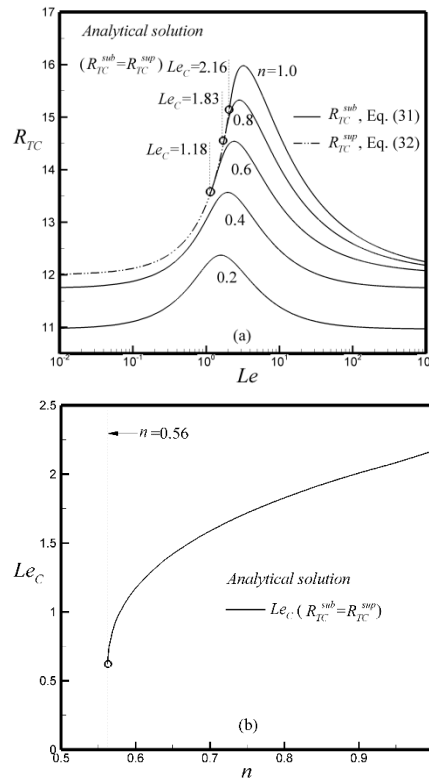


Fig. 3. Subcritical Rayleigh number, R_{TC}^{sub} , and supercritical Rayleigh number, R_{TC}^{sup} , as function of Lewis number, Le , and various values of power-law index, n , for $\varphi = -0.1$, $\lambda_{CY} = 0.2$, $a = 2$ and $s = 10^{-2}$.

Fig. 4 shows the variation of the critical Rayleigh numbers R_{TC}^{sub} , R_{TC}^{tur} and R_{TC}^{sup} with the buoyancy ratio, φ , for $Le = 5$, $\lambda_{CY} = 0.2$, $a = 2$ and $s = 10^{-2}$. The graph indicates that in the range ($-0.1 \leq \varphi \leq 0.1$), the subcritical Rayleigh number, R_{TC}^{sub} , decreases with decreasing buoyancy ratio, φ , for different values of n , thus the buoyancy ratio has a destabilizing effect. At $\varphi = 0$ it is found that $R_{TC}^{sub} = R_{TC}^{sup} = 12$, and this independently of the power law-index varied between $n = 1$ and 0.6 . Upon keeping on decreasing the value of the power-law index, n , and increase the value of the buoyancy ratio, $\varphi > 0$, it appears clearly that the bistability phenomenon occurs regardless of the power-law index, n . However, it can be seen that the extent of the bistability region depend on the power-law index, n . This region arises when the system has two steady-state solutions occurring under the same conditions. In this situation, a bistability region occurs between

the two turning saddle-node points R_{TC}^{sub} and R_{TC}^{tur} , as illustrated in the zoom presented in Fig.4. A bird eye view of the results indicates that, for the case where $n = 0.1$, in the range $(-0.1 \leq \varphi \leq 0.035)$, the subcritical Rayleigh number (R_{TC}^{sub}) is the lower critical Rayleigh number, i.e. $(R_{TC}^{sub} < R_{TC}^{sup} < R_{TC}^{tur})$, such that the onset of motion is subcritical, as exemplified in Figs. 5(a)-(d) for $\varphi = -0.01$. For this value, the critical Rayleigh number for the motion, are given by $R_{TC}^{sub} = 10.50$ and $R_{TC}^{sup} = 12.64$. In the graph, the solution depicted by the solid line, referred to as the stable solution. This is not the case for the dot-dot-dashed line, connecting the subcritical and supercritical Rayleigh number, which corresponds to an unstable solution. At $\varphi = 0.035$, it is found $R_{TC}^{sub} = R_{TC}^{sup} = 10.2$. Upon keeping on decreasing the value of φ , it is observed that, in the range $(0.035 \leq \varphi \leq 0.082)$, the existence of the bistability phenomenon, where the bistability region is delineated by the hatched area. For this situation, the bifurcation curve consists of a lower supercritical branch and upper branch that exists for $R_T \geq R_{TC}^{sub}$, as exemplified in Figs. 5(a)-(d) for $\varphi = 0.04$. For this value, the resulting bifurcation curve is seen to be quite particular and the onsets of motion are given by $R_{TC}^{sup} = 10$, $R_{TC}^{sub} = 10.17$ and $R_{TC}^{tur} = 10.47$. A bird's-eye view of the graph indicates the existence of two stable different branches, depicted by solid lines. The upper branch, starting at R_{TC}^{sub} , is the standard branch observed is subcritical bifurcation while the lower stable branch, which starts at R_{TC}^{sup} corresponds to a supercritical bifurcation. However, it is observed that the lower stable branch exists only in the range $(R_{TC}^{sup} \leq R_T \leq R_{TC}^{tur})$, where R_{TC}^{tur} correspond to a turning saddle-node point. These two solutions have the same flow structure but different flow intensities, and exhibit different heat and mass transfer rates. These two solutions are usually connected by a third unstable solution. For $0.082 \leq \varphi \leq 0.1$, the only existing critical Rayleigh number is the supercritical one, R_{TC}^{sup} , as exemplified in Fig. 5(a) for $\varphi = 0.1$. It is observed that the onset of steady motion is now not subcritical, but rather supercritical. The resulting pitchfork type bifurcation characterized by a transition from the rest state ($\psi_0 = 0$) to a convective regime, takes place at a supercritical Rayleigh number of $R_{TC}^{sup} = 8$.

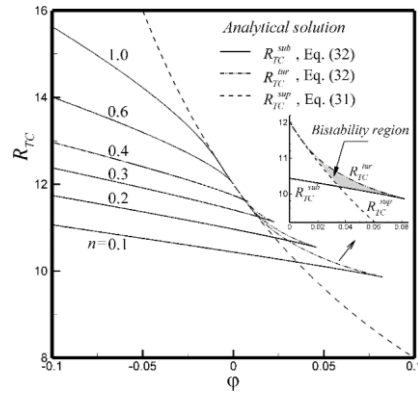


Fig. 4. Buoyancy ratio, φ , and power-law index, n , effects on the critical Rayleigh numbers R_{TC}^{sup} , R_{TC}^{sub} and R_{TC}^{tur} for $Le = 5$, $\lambda_{CY} = 0.2$, $a = 2$ and $s = 10^{-2}$.

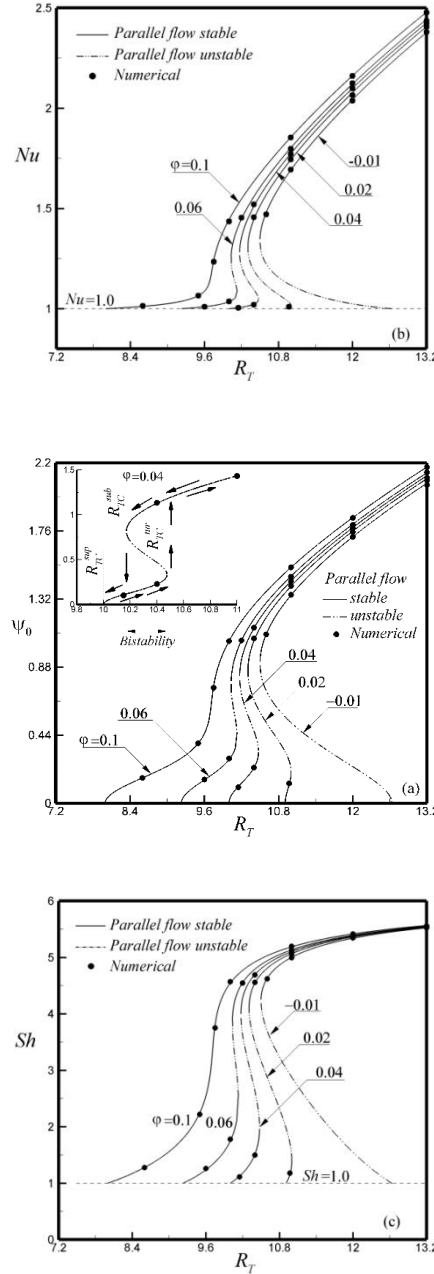


Fig. 5. Bifurcation diagram as a function of R_T and φ for $Le = 5$, $n = 0.1$, $\lambda_{cy} = 0.2$, $a = 2$, $s = 10^{-2}$ and $\varepsilon = 1$, (a) flow intensity ψ_0 , (b) Nusselt number Nu , (c) Sherwood number Sh and (d) apparent viscosity, μ_{cy} .

VI. CONCLUSION

For an infinite layer, a good comparison was obtained between the resulting steady state solution predicted by the parallel flow theory and the numerical solution of the full governing equations. The resulting convective heat and mass transfer rates were then considerably affected by the parameters of the Carreau-Yassuda model (n , λ_{cy} , a and s). For a given value of the governing parameters, the strength of convection (ψ_0), heat and mass transfer rates (Nu and Sh) are promoted (annihilated) when decreasing (increasing) the power-law index in the range ($0.1 \leq n \leq 1$) or when increasing (decreasing) the time constant in the range ($0 \leq \lambda_{cy} \leq 1$). A similar trend is found for viscosity apparent (μ_{cy}) upon increasing (decreasing) the value of n and decreasing (increasing) the value of λ_{cy} . Thus, when the Rayleigh number was very large both heat and mass transfer rates tended asymptotically toward a constant value $Nu(Sh) \rightarrow 6.0$, and

this independently of the value of both n and λ_{cy} . Depending on the buoyancy ratio and the Carreau-Yassuda parameters, it was found that the shapes of the bifurcation curves can be considerably modified. Thus, for a given set of the Carreau-Yassuda parameters and the buoyancy ratio ($\varphi > 0$), i.e. when both the thermal and the solutal forces are destabilizing, the onset of convection occurs at a supercritical (R_{TC}^{sup}), while for the opposing buoyancy forces ($\varphi < 0$), the onset of motion could be subcritical (R_{TC}^{sub}). In between these two limits ($0 < \varphi < 0$), the curves display a more complex bifurcation process leading to bistability convection, at which the existence of the two distinct finite amplitude solutions, one for $R \geq R_{TC}^{sub}$ and the other one between ($R_{TC}^{sup} \leq R_r \leq R_{TC}^{tur}$) or ($R_{TC}^{tur1} \leq R_r \leq R_{TC}^{tur2}$). These two solutions are usually connected by a third or fourth unstable solution.

REFERENCES

- [1] Goyeau B, Songbe J.P, Gobin D., (1996) Numerical Study of Double-Diffusive Natural Convection in a Porous Cavity Using the Darcy-Brinkman Formulation, *Int. J. Heat Mass Transfer* 39: 1363-1378.
- [2] Gobin D, Bennacer R., (1996) Cooperating Thermosolutal Convection in Enclosures II: Heat Transfer and Flow Structure, *Int. J. Heat Mass Transfer* 39: 2683-97.
- [3] Valencia-Lopez J.J, Ochoa-Tapia J.A., (2001) A Study of Buoyancy-Driven Flow in a Confined Fluid Overlying a Porous Layer, *Int. J. Heat Mass Transfer* 44: 4723-4736.
- [4] Serrano-Arellano J, Xamán J, Álvarez G, Gijón-Rivera M.,(2013) Heat and Mass Transfer by Natural Convection in a Square Cavity Filled With a Mixture of Air-CO₂, *Int. J. Heat Mass Transfer* 64: 725-734.
- [5] Mamou M.,(2003) Stability Analysis of the Perturbed Rest State and of the Finite Amplitude Steady Double-Diffusive Convection in a Shallow Porous Enclosure, *Int. J. Heat Mass Transfer* 46: 2263-2277.
- [6] Lamsaadi M, Naïmi M, Hasnaoui M.,(2005) Natural Convection of Non-Newtonian Power Law Fluids in a Shallow Horizontal Rectangular Cavity Uniformly Heated From Below. *Heat Mass Transfer* 41: 239-249

A NEW FREQUENCY SELECTIVE SURFACE DESIGN FOR 5G APPLICATIONS

Abdulkadir CILDIR¹

¹Burdur Mehmet Akif Ersoy University, Elektrical-Electronic Engineering

acildir@mehmetakif.edu.tr

ORCID: 0000-0003-1789-6088

Abstract-This paper introduces a frequency selective surface (FSS) design that reflects some frequency bands. The frequency selective surface works as a polarization converter and can convert the wave from linear to linear and from linear to circular by shifting the polarization of the wave by 180 and 90 degrees, respectively. This design consists of unit cells with half-ring copper structures on the top of a Roger 5880 substrate with a thickness of 1.575 mm and a loss tangent of 0.009, while the back is full copper. This design can reflect x/y-polarized waves as y/x-polarized waves with 90% efficiency in the frequency region of 5.14-5.16, and 8.95-9.04 GHz. This surface can also convert linearly polarized waves to circularly polarized waves with a polarization conversion ratio (PCR) of 90% in the frequency bands of 5.09-5.21, 8.82-8.90 and 9.08-9.20 GHz. These results are based on mathematical theories and simulation analysis, which are shown as formulations and graphs in the paper. This structure can be preferred for antennas, radars, and communications, especially for 5G applications.

Keywords: Frequency Selective Surface (FSS); Polarization Conversion.

I. INTRODUCTION

The polarization of an electromagnetic wave describes how the electric field oscillates over time in a plane perpendicular to the direction of wave propagation. In recent years, increasing attention has been given to controlling the polarization state of electromagnetic waves, driven by the growing demand in polarization-sensitive technologies and systems. Due to their unique ability to manipulate polarization, polarization converters [1-5] have found widespread use across microwave, terahertz, and even optical frequency ranges.

Frequency Selective Surfaces (FSS), which can block or reflect specific frequency bands, have gained significant interest recently. Their advantages such as compact size, low profile, and broad bandwidth and angular response make them attractive alternatives to traditional components. Given the crucial role polarization control plays in devices like wave plates, polarization beam splitters, and antennas [6-9], researchers have continually sought new methods and structures to manipulate the polarization characteristics of EM waves.

In communication systems, polarization converters are vital, as electromagnetic waves often need to be transformed between different polarization states to cope with channel conditions and environmental factors. Conversions from linear to linear and from linear to circular polarization are especially important, with applications spanning modern communication systems, including sub-5G technologies [10].

In this paper, a new frequency-selective surface has been designed for polarization conversion. This design reflects the incident wave by shifting its polarization by 90 and 180 degrees. In other words, this FSS can convert the polarization of the incident wave from linear to linear in the 5.14-5.16 and 8.95-9.04 GHz frequency bands, and from linear to circular in the 5.09-5.21, 8.82-8.90, and 9.08-9.20 GHz frequency bands. These results have been analyzed and supported by the mathematical theories in the paper.

II. THE DESIGNED UNITCELL CONFIGURATION

The designed unitcell with half-ring copper shapes forming FSS structure is shown on the xy axis in Fig. 1. This structure has been design on Roger 5880 substrate with a thickness of 1.575 mm and a loss tangent of 0.009. The backside of the substrate is fully covered with the copper. Here, the dimensions of the unitcell are s:26, r:4, g:1 mm.

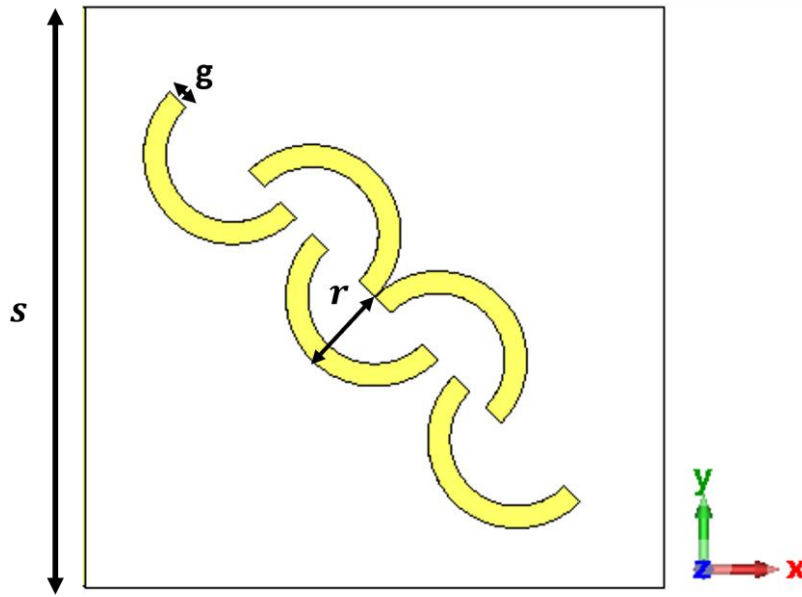


Fig. 1. The designed unitcell for FSS on the cartesian coordinate

III. SIMULATION RESULTS AND DISCUSSION

This structure has been designed and simulated by using periodic boundry conditions with Floquet port. To see the results of the designed structure, we can analyse the reflection coefficient results of the design. Reflection coefficients are so important parameters that can show us the relationship between incident and reflected waves. Co-polarized coefficients are R_{xx} and R_{yy} , which are equal to E_{rx}/E_{ix} and E_{ry}/E_{iy} , respectively, while cross-polarized coefficients (R_{yx} and R_{xy}) are equal to $|E_{yr}/E_{xi}|$, $|E_{xr}/E_{yi}|$.

the reflection coefficient results for x- and y-polarized incident waves are given in Fig. 3. Here, for two different the polarized incident wave, it is seen that a single result is because of the symetrical structure accross u-axis, which is shown in Fig. 2.

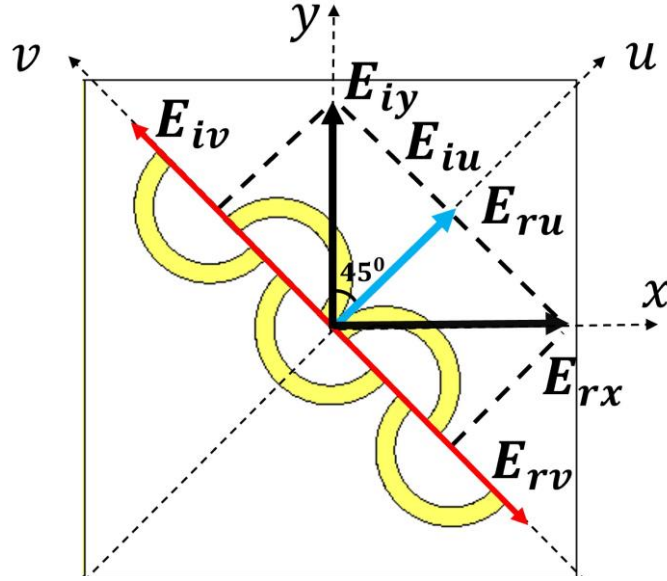


Fig. 2. The unitcell with electric field components on uv- and xy-axis

Fig. 2 shows that resonances occur when the cross-polarization coefficients remain below -10 dB, indicating 90% reflection. Also, the cross-polarized coefficients approach 0 dB at the same resonance frequencies, showing a polarization conversion by shifting 180 degree along the uv-axis. As a result, the desinged FSS can make a conversiton linear-to-linear (LTL) at these resonance frequencies.

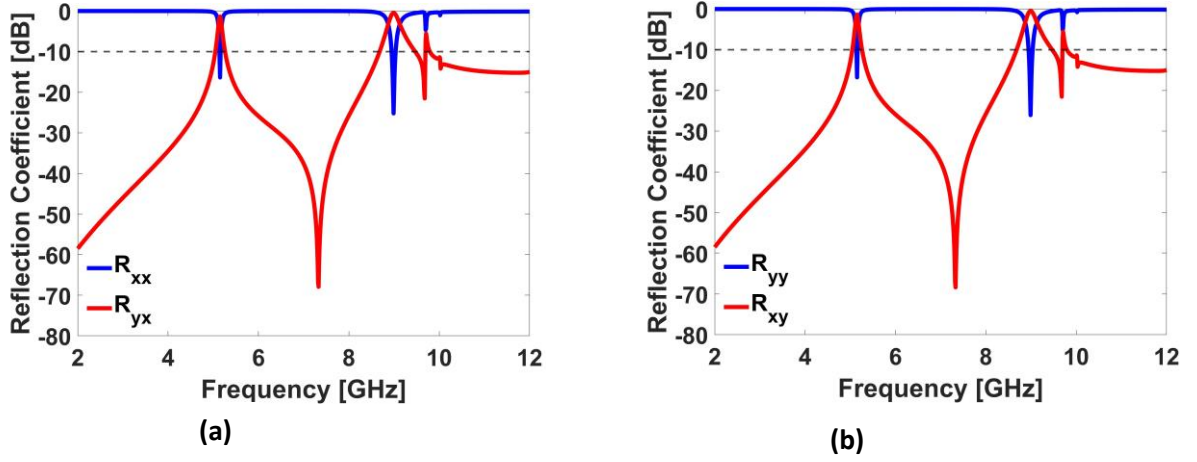


Fig. 3. The results of the reflection coefficient: (a) for the x-polarized wave, (b) for the y-polarized wave

The 180 degree shift mentioned above can be understood from the results of the reflection coefficients on the uv-axis in Fig. 4. To get LTL conversion, Equ. (1) must be validated. Fig. 4 (a) shows that the magnitude of the co-polarized coefficient are approximately equal each other, while Fig. 4. (b) indicates the existence of the 180 degree phase difference between co-polarized coefficients on uv-axis.

$$\begin{cases} |R_{uu}| = |R_{vv}| = 1 \\ \Delta\varphi = \varphi_{uu} - \varphi_{vv} = \pm\pi \end{cases} \quad (1)$$

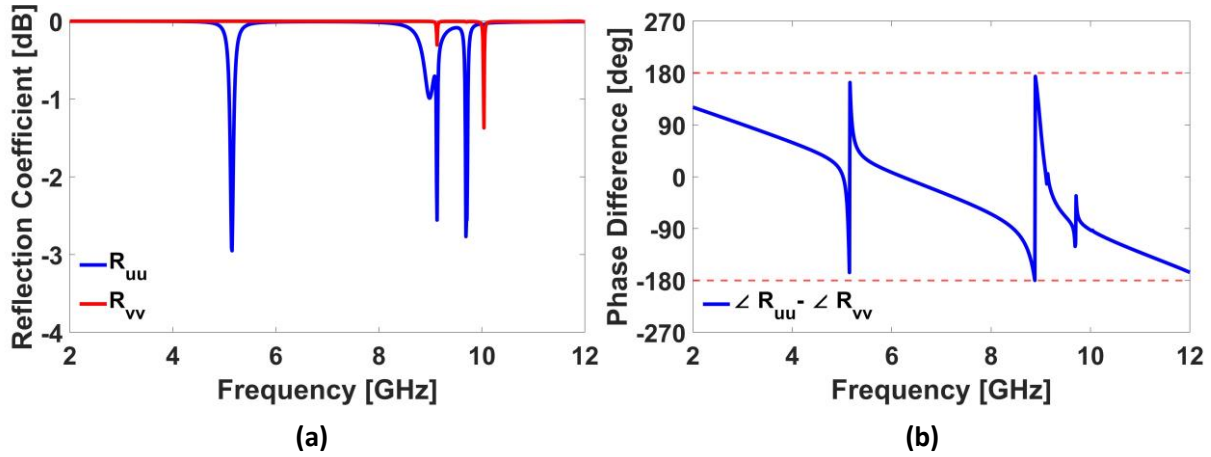


Fig. 4. The results of the reflection coefficient: (a) for the u-polarized wave, (b) for the v-polarized wave

To understand better the existence of LTL conversion, it is persistent to check the PCR (polarization conversion ratio) results. Equ. 2 shows the mathematical theory for calculating PCR and the calculation result is shown in Fig. 5. These results confirm the LTL conversion at dual-band frequencies.

$$PCR = \frac{|R_{xy}|^2}{|R_{xy}|^2 + |R_{yy}|^2} \times 100 \quad (2)$$

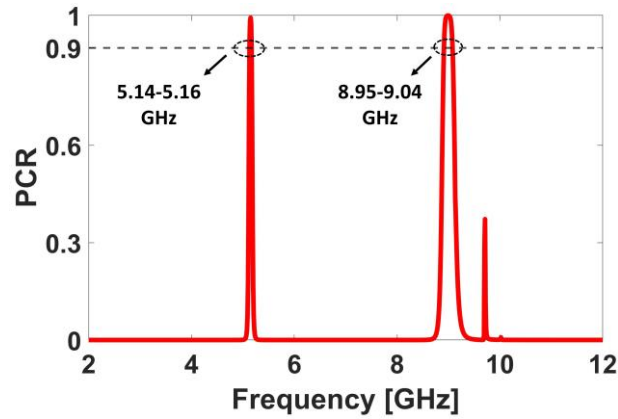


Fig. 5. PCR (Polarization Conversion Ratio) results for normal incidence

Axial ratio can be calculated by $10 \log \frac{|R_{xy}|}{|R_{yy}|}$ which is used to analyze the linear-to-circular conversion. To get a circularly polarization are shown the circumstances in Equ. (3). The condition that the magnitude of the reflection coefficients are equal are satisfied by calculating the axial ratio in Fig. 5.

$$\begin{cases} |R_{yy}| = |R_{xy}| \\ \Delta\varphi_{xy} = \varphi_{xx} - \varphi_{yx} = \pm\pi/2 \end{cases} \quad (3)$$

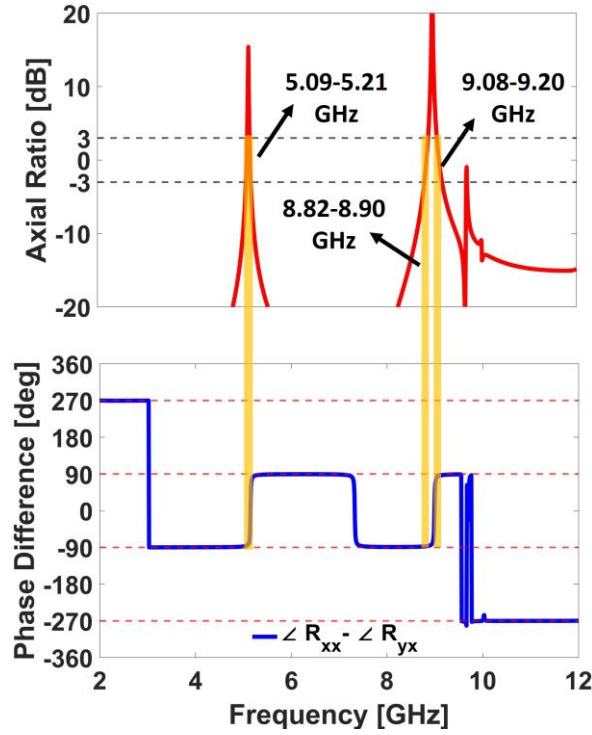


Fig. 6. The results of axial ratio and phase difference for x-polarized wave

The second condition of the circularly polarization given in Equ. (3) indicates the existence of a 180 degree phase difference between the x-polarized incident and y-polarized reflected waves. Consequently, Fig. 6 shows that the incident wave can be reflected and converted into a circularly polarized wave in three different frequency bands.

IV. CONCLUSION

This study introduces a novel Frequency Selective Surface (FSS) composed of half-ring unit cells designed on a Rogers 5880 substrate. The proposed structure is capable of reflecting incident linearly polarized waves by rotating their polarization by 90 degrees around the xy-axis with an efficiency of 90% in the frequency ranges of 5.14–5.16 GHz and 8.95–9.04 GHz. Additionally, it achieves linear-to-circular (LTC) polarization conversion with 90% efficiency within the frequency bands of 5.09–5.21 GHz, 8.82–8.90 GHz, and 9.08–9.20 GHz. This design holds promise for enhancing antenna performance and can be applied in radar systems, medical technologies, and communication systems, particularly in sub-5G applications.

REFERENCES

- [1] A. Cildir, F. A. Tahir, M. Farooq, A. Zahid, M. Imran, and Q. H. Abbasi, "A highly efficient and broadband metasurface for linear-to-linear and linear-to-circular polarization conversion in reflection mode," *Photonics Nanostructures Fundamentals Applications*, vol. 64, p. 101382, 2025.
- [2] A. Cildir *et al.*, "An efficient broadband metasurface design for smart health care and future communication applications," *Results in Optics*, vol. 19, p. 100772, 2025.
- [3] A. Rashid, M. Murtaza, S. A. A. Zaidi, H. Zaki, and F. A. Tahir, "A single-layer, wideband and angularly stable metasurface based polarization converter for linear-to-linear cross-polarization conversion," *Plos one*, vol. 18, no. 1, p. e0280469, 2023.

- [4] M. M. I. Khan, M. H. M. Shamim, J.-L. Delarosbil, Y. Messaddeq, F. Smektala, and M. Rochette, "Polarization conversion in soft glass fluoride and chalcogenide fibers for mid-infrared applications," *Journal of Physics: Photonics*, vol. 7, no. 2, p. 025002, 2025.
- [5] M. Kirlar, E. Aslan, E. Aslan, and M. Turkmen, "Simple and hybrid metalens with high polarization conversion efficiency for near-infrared spectrum," *Optical Materials Express*, vol. 157, p. 116033, 2024.
- [6] S. Genovesi and F. A. Dicandia, "Characteristic modes analysis of a near-field polarization-conversion metasurface for the design of a wideband circularly polarized X-band antenna," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 88932-88940, 2022.
- [7] A. Bhattacharjee and S. Dwari, "Design of an anisotropic reconfigurable reflective polarization converter for realizing circular polarization-reconfigurable antenna," *IEEE Antennas Wireless Propagation Letters*, vol. 21, no. 12, pp. 2392-2396, 2022.
- [8] M. Noman *et al.*, "Circular Dichroism and Cross Polarization Conversion Using Chiral Metasurface," *IEEE Open Journal of Antennas Propagation*, 2025.
- [9] M. Noman, H. Abutarboush, F. A. Tahir, A. Zahid, M. Imran, and Q. H. Abbasi, "A novel multifunctional chiral metasurface with asymmetric transmission," *Scientific Reports*, vol. 14, no. 1, p. 24681, 2024.
- [10] A. Cildir, F. A. Tahir, M. Imran, and Q. H. Abbasi, "An Innovative Metasurface Polarizer Working in 5G Frequency Bands," in *2024 18th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)*, 2024, pp. 1-5: IEEE.

Probe Sonication-Assisted Produced of Reduced Graphene Oxide Using Glucose in Alkaline Conditions: Synthesis and Stability

^{1*}Neşe KEKLİKÇİOĞLU ÇAKMAK

Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Sivas Cumhuriyet University, 58140 Sivas, Türkiye

*(nkeklikcioglu@cumhuriyet.edu.tr)

Abstract – This study highlights the use of mild reagents as an advantageous method for synthesizing reduced graphene oxide (RGO) without employing hazardous chemicals like hydrazine, which is a standard route for chemical reduction of graphene oxide. The paper describes a sono-assisted method for producing RGO particles using glucose as a mild reducing agent in alkaline media, mediated by sodium hydroxide (NaOH). The results show that the chosen base has a direct impact on the final properties of RGO and the reduction that takes place. Their stability is also demonstrated by zeta potential analysis.

Keywords – Reduced graphene oxide, graphene oxide, probe sonication.

I. INTRODUCTION

Graphene, a groundbreaking two-dimensional material, consists of a single layer of sp^2 hybridized carbon atoms meticulously arranged in a distinctive hexagonal honeycomb lattice [1]. When multiple such layers are stacked together, the resulting macroscopic structure is commonly known as graphite. The abundant availability of graphite serves as a crucial starting point for the derivation of various graphene-based nanomaterials. These valuable derivatives can be obtained through diverse methods, including physical exfoliation, famously exemplified by the Scotch tape method, or more commonly, via intricate chemical oxidation processes [2].

A key derivative formed through these processes is graphene oxide (GO), which subsequently undergoes reduction to yield reduced graphene oxide (RGO) [3]. This reduction step is paramount as it aims to partially restore the hexagonal carbon honeycomb structure, thereby re-establishing many of graphene's desirable electronic and optical properties. However, it is important to note that the final properties of RGO are significantly influenced by the residual interactions that depend on the specific reduction conditions employed. Historically, the initial chemical reductions of graphene oxide primarily utilized hydrazine monohydrate, a highly potent reducing agent. Despite its effectiveness, a significant and well-documented drawback associated with this traditional method is the inherent toxicity of hydrazine to both the environment and human health. This critical environmental and safety concern has catalyzed an intensive global search for new, safer, and environmentally friendly alternatives, often collectively referred to as "green chemical reduction methods" [4-6].

Among the most promising "green" approaches, the utilization of sugars as mild reducing agents for the production of partially reduced graphene oxide (RGO) has been extensively investigated and proven effective [5]. This particular method offers a compelling and eco-conscious pathway to synthesize stable RGO solutions. Such stable RGO solutions have garnered considerable interest due to their remarkably diverse applicability across various cutting-edge fields. For instance, they have shown immense utility as a support material in cancer therapy within the biomedical field, in advanced electrocatalysis, for formulating next-generation conductive inks, and in the innovative fabrication of RGO-based composites

[7]. These broad and impactful applications are largely attributed to the intricate interaction between graphene sheets and open-chain oxidized glucose molecules¹. Furthermore, this "green approach," specifically relying on glucose oxidation, is highly advantageous because it can yield materials exhibiting varying degrees of carbon restoration and consequent alterations in the material's bandgap [8-12]. These tunable characteristics are paramount and crucial for tailoring RGO for future specific and high-performance applications.

Building upon these significant advancements, this study specifically details the synthesis of reduced graphene oxide (RGO) using glucose under precisely controlled alkaline conditions. Sodium hydroxide (NaOH) was meticulously chosen as the base to effectively promote and facilitate the graphene oxide reduction process. A critical and innovative aspect of the methodology employed here is the assistance of probe sonication throughout the entire synthesis process, which notably leads to different levels of oxidation depending on the base chosen. The research demonstrates that the specific choice of base has a direct impact on the final properties of RGO and the extent of the reduction that takes place. Crucially, the investigation revealed that neither the alkali (NaOH) nor glucose alone was capable of producing RGO; their synergistic presence was absolutely essential for the successful reduction. This powerful synergistic effect is attributed to the oxidation of open-chain gluconic acid molecules, which then interact with the oxygenated groups present on graphene, thereby acting as an effective catalyst for the deoxygenation of graphene in the basic medium. The progress of the reduction process was diligently monitored through UV-Vis analysis, which consistently confirmed a bathochromic shift of the maximum absorbance peak to wavelengths greater than or equal to 260 nm. This characteristic spectral shift, alongside the distinct disappearance of the broad shoulder peak, is a strong visual indicator of significant oxygen removal and a partial restoration of the aromatic carbon sp^2 structure within the graphene lattice. Furthermore, the long-term stability of the synthesized RGO particles, crucial for their practical applications, is robustly demonstrated through zeta potential analysis. Indeed, both GO and RGO were found to form stable colloidal solutions in water, demonstrating their exceptional water solubility and interparticle electrostatic repulsion.

2. Materials and methods

2.1. Materials

Graphite flakes ($< 20\ \mu\text{m}$, 12.01 g/mol), H_2SO_4 (98%), H_2O_2 (30%), potassium permanganate, D-(+)-Glucose, Sodium hydroxide, Sulfuric acid, were purchased from Sigma Aldrich. All chemicals were used without any further purification.

2.2. Synthesis of graphene oxide and reduced graphene oxide

In this study, graphene oxide (GO) was synthesized following an improved Hummers' method, as originally proposed by Marcona et al. [7] and previously employed by the authors in our prior research [8]. This method typically involves the chemical exfoliation of graphite flakes, the starting material, through oxidation processes to introduce oxygen-containing functional groups onto the carbon lattice. The reduction of graphene oxide (GO) was accomplished through a "green chemical reduction method" utilizing glucose under alkaline conditions. This approach is specifically highlighted as an advantageous alternative to traditional methods that employ hazardous chemicals, such as hydrazine monohydrate, which is known for its toxicity to both the environment and human health.

The detailed procedure for the synthesis of RGO is as follows:

- **Initial Mixture Preparation:** To begin, 50 mg of synthesized graphene oxide (GO) was carefully loaded into a beaker. Subsequently, 100 mL of a 0.1 M aqueous glucose solution was added to the GO.

- **Probe Sonication-Assisted Process:** The entire mixture was then subjected to sonication using an ultrasonic tip. This probe sonication assistance is a critical aspect of the method, influencing the levels of oxidation achieved in the final RGO product, with the specific base chosen playing a significant role in this outcome.

- **Alkaline Medium Introduction:** Following the initial mixing and sonication, 150 mL of a 1 M Sodium hydroxide (NaOH) solution was gradually added. This addition was performed incrementally, every 10 minutes for a total duration of 50 minutes, while the beaker remained continuously under sonication. NaOH was specifically selected as the base to effectively promote and facilitate the graphene oxide reduction process.

- **Reaction Progression and Completion:** After the complete addition of the NaOH solution, the mixture was allowed to stand for an additional 10 minutes without further base addition. To ensure the reaction reached completion, the mixture was then stirred under reflux at 90 °C for 1 hour.

Visible spectroscopy (UV-Vis) absorbance measurements were performed every 10 min after sonication to monitor the graphene oxide reduction process. Finally, the material was centrifuged at 8000 rpm for 10 min, and the precipitate was washed twice with ethanol and a third time with ultrapure water, with subsequent drying 48 h [6].

Characterization

To ensure that the samples are dispersed homogeneously, a UV–Vis spectrophotometer (UV-1280, Shimadzu, Japan) recorded the spectra of the samples prepared in the range of 200–800 nm. All measurements were done with a pair of quartz cuvettes. The samples' zeta potentials were measured with a Malvern Zetasizer Nano Z zeta potential analyzer.

Results and discussion

Synthesis, functionalization, and characterization

As shown in Fig. 1, the UV-Vis spectra of centrifuged and redispersed RGO and GO samples were captured in order to assess the material's optical characteristics. For GO, a typical absorption peak at 233 nm appears, which is attributed to the $\pi \rightarrow \pi^*$ transition of the aromatic C=C bonds. In addition, the broad shoulder peak, at around 300 nm, is attributed to $n \rightarrow \pi^*$ transitions of the carbonyl groups. After the reduction process, the absorption peak at 233 nm red-shifted to at around 270 nm for RGO [6-8]. This shift suggests a partial restoration of the aromatic carbon sp^2 structure that was previously affected by oxidation. The broad shoulder peak around 300 nm disappeared after reduction, indicating the removal of oxygen from the graphene oxide lattice [11, 12].

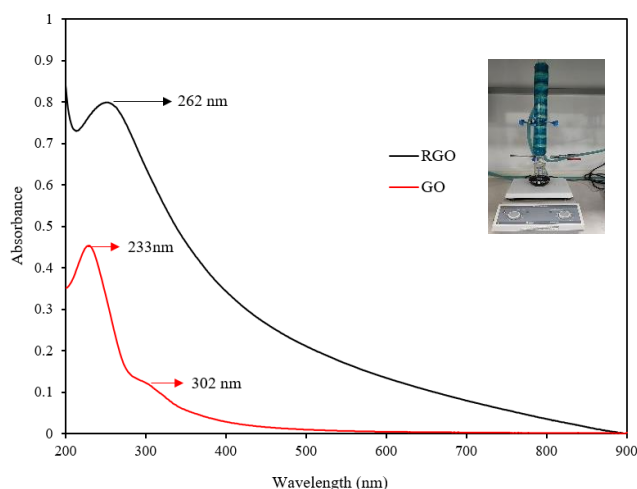


Fig. 1 UV spectra of synthesized GO and GO reduced with NaOH (Na-RGO).

The interaction between suspended particles is directly reflected by the zeta potential. Aqueous GO and RGO had zeta potentials of -42.4 mV and -35.7 mV, respectively (Fig. 2). Because of interparticle electrostatic repulsion, particles with zeta potentials greater than -30 mV are thought to produce stable suspensions [9]. RGO is less dispersible than GO in aqueous solution, as shown in Fig. 2. Consequently, RGO and GO dissolved in aqueous solution to form a stable colloidal, demonstrating the materials' exceptional water solubility [10].

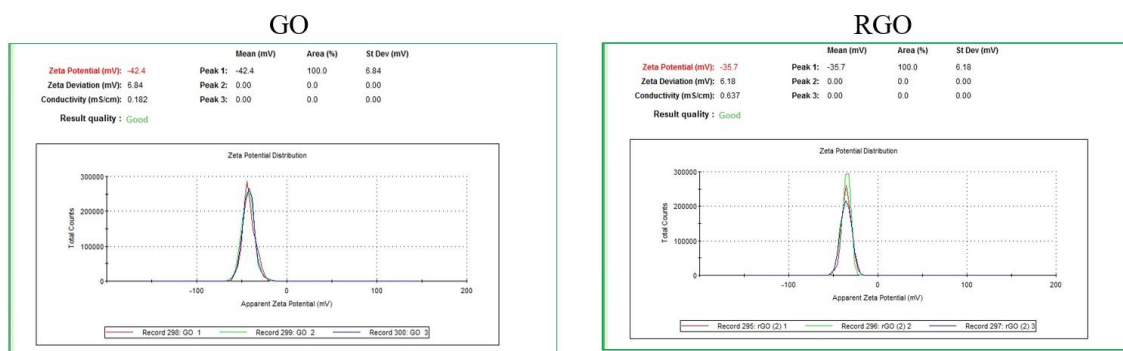


Figure 2. Zeta potential of GO and RGO

Conclusion

The impact of NaOH on the probe sonication-assisted reduction process with glucose acting as a reducing agent was examined in this work. By facilitating the binding of glucose-oxidized molecules to reduced graphene oxide, glucose-based reduction serves as a capping agent and stabilizes the particles for subsequent uses in aqueous solution. The reduction of graphene oxide was accomplished in this study, and zeta potential measurement showed that both GO and RGO were stable in water for a week

References

- [1] Dreyer, D. R., Park, S., Bielawski, C. W., & Ruoff, R. S. (2010). The chemistry of graphene oxide. *Chemical society reviews*, 39(1), 228-240.
- [2] Chung, C., Kim, Y. K., Shin, D., Ryoo, S. R., Hong, B. H., & Min, D. H. (2013). Biomedical applications of graphene and graphene oxide. *Accounts of chemical research*, 46(10), 2211-2224.
- [3] Pei, S., & Cheng, H. M. (2012). The reduction of graphene oxide. *Carbon*, 50(9), 3210-3228.
- [4] De Silva, K. K. H., Huang, H. H., Joshi, R. K., & Yoshimura, M. (2017). Chemical reduction of graphene oxide using green reductants. *Carbon*, 119, 190-199.
- [5] Zhu, C., Guo, S., Fang, Y., & Dong, S. (2010). Reducing sugar: new functional molecules for the green synthesis of graphene nanosheets. *ACS nano*, 4(4), 2429-2437.
- [6] Teixeira, J. V. U., Pimentel, G. J. C., Santos, A. A., Dias, L. F. G., Mastelaro, V. R., & Lisboa-Filho, P. N. (2023). Partially reduced graphene oxide produced by glucose in alkaline conditions using probe sonication: the role of the base in reduction. *Journal of materials research and technology*, 26, 1785-1797.
- [7] Marcano DC et al (2010) Improved synthesis of graphene oxide. *ACS Nano* 4(8):4806–4814
- [8] Keklikcioglu Cakmak, N., & Eroglu, A. (2023). Doxorubicin and tamoxifen loaded graphene oxide nanoparticle functionalized with chitosan and folic acid for anticancer drug delivery. *Polymer Bulletin*, 80(2), 2171-2185.
- [9] Cao, L., Li, Z., Su, K., & Cheng, B. *Hydrophilic graphene preparation from gallic acid modified graphene oxide in magnesium self-propagating high temperature synthesis process*, *Sci. Rep.* 6 (2016) 1–9.
- [10] Mahmudunnabi, D. M., Alam, M. Z., & Nurnabi, M. (2024). Synthesis of reduced graphene oxide and its application for the removal of anionic dye TURQUOISE GN. *Desalination and Water Treatment*, 319, 100459.
- [11] Cham sa-ard, W., Fawcett, D., Fung, C. C., Chapman, P., Rattan, S., & Poinern, G. E. J. (2021). Synthesis, characterisation and thermo-physical properties of highly stable graphene oxide-based aqueous nanofluids for potential low-temperature direct absorption solar applications. *Scientific Reports*, 11(1), 16549.
- [12] Wijaya, R., Andersan, G., Per, S., & Irawaty, W. *Green reduction of graphene oxide using kaffir lime peel extract (Citrus hystrix) and its application as adsorbent for methylene blue*, *Sci. Rep.* 10 (2020) 1–9.

Analysis of oil fields susceptible to water washing

Andrei Barbulescu¹, Rita Bejan¹ and Timur Chis^{2*}

¹Ph.D. School, Petroleum-Gas University Ploiesti, Romania

²Oil and Gas Engineering Faculty Ploiesti, Romania

*(timur.chis@gmail.com)

Abstract – Fluid injection and gas injection are the most common methods of secondary exploitation. The share of water injection processes in Romania is high when it comes to increasing the hydrocarbon recovery factor. The deposits to which secondary exploitation is applied are those from which, during primary exploitation, a large proportion of the reservoir energy has been removed and significant quantities of hydrocarbons are still found and can be extracted.

There are many mentions in the specialized literature in which a larger quantity of hydrocarbons can be extracted from deposits in secondary exploitation than in primary exploitation. This paper described about water injection in oil fields.

Keywords – oil, water, field, injection, secondary exploitation.

I. INTRODUCTION

Fluid injection and gas injection are the most common methods of secondary exploitation. The share of water injection processes in Romania is high when it comes to increasing the hydrocarbon recovery factor. The deposits to which secondary exploitation is applied are those from which, during primary exploitation, a large proportion of the reservoir energy has been removed and significant quantities of hydrocarbons are still found and can be extracted.

There are many mentions in the specialized literature in which a larger quantity of hydrocarbons can be extracted from deposits in secondary exploitation than in primary exploitation. This is shown by the production data: only a small fraction of the original oil is recovered through primary exploitation, examples being the deposits in Texas (USA)-Permian Basin, in China- Daqing, Saudi Arabia- Ghawar, etc. The application of secondary exploitation methods based on new technologies and scientific research can lead to doubling or even tripling the oil fraction [1].

The success of the secondary exploitation process depends to a large extent on the appropriate choice of the driving method on the reservoir, as well as on the choice of the displacement agent. This statement is based on the fact that most failures in exploitation are due to inappropriate choices of the driving method and the displacement agent. In order to make appropriate choices on the two factors, a detailed investigation of the state of the reservoir is necessary, the first thing being the determination of the form of the reservoir energy.

Other mentions in the specialized literature related to secondary exploitation that deserve attention are [2]:

- the properties of the reservoir are not of particular importance in choosing the driving methods;
- favorable for secondary exploitation methods are deposits that have low recovery factors (0.15-0.3), namely worked in the form of the reservoir energy of dissolved gases;

-the organization of injection and extraction wells, namely the location and distance between them, had a major impact on the secondary exploitation process;

- it was possible to use reservoir waters, sea waters, lake or river waters as a displacement agent; related to the use of well gases, gas supply is a source that is found in a smaller percentage; on the other hand, water sources are easier to find, but here the quality of the water is also very relevant. Water needs to contain as few mechanical impurities as possible and mineral salts to be removed so as not to clog the pores;

The form of reservoir energy corresponds to the percentage of saturation in oil, a percentage relevant for the entire secondary exploitation process. The average oil saturation in the reservoir chosen for secondary exploitation must be a minimum of 35-40% at the beginning of exploitation.

The dissolved gas regime has the advantageous characteristics for secondary exploitation, namely reduced recovery factors in primary exploitation.

The deposits with this regime turned out to be the most suitable due to the low recovery factors, then there are the deposits with the gas exit regime from the solution, these have the form of mixed energy. In proportion to the efficiency of the marginal waters are the recovery factors in oil, so if the efficiency of the waters increases, then the recovery factors in primary exploitation also increase, so the deposits become unfavorable for secondary exploitation.

Hydrocarbon deposits in which the form of the deposit is by pushing marginal waters are excluded from secondary exploitation, this being a successful form of deposit in primary exploitation, also those with a gravitational regime are bypassed because there are no quantities of hydrocarbons left that are relevant from an economic point of view. All this information is relevant because it is necessary to know whether the hydrocarbon reserve in the field is sufficient to be able to proceed with the choice of an artificial flooding method [3].

For the most correct choice of the displacement agent, an important characteristic in the success of the secondary exploitation process, it is necessary to know, as well as possible, the saturation in oil, water and gas.

It is known from the specialized literature that a low consumption of displacement agent corresponds to a low saturation in oil, water, gas at different stages of exploration, namely the consumption of displacement agent is proportional to the respective saturations depending on the moment of exploration. The water-oil, oil-gas ratios are closely related to the saturation in oil, water and gas, this connection being the consequence of the phase permeability.

Using some experimental data, specific for sandy permeable media, and with the help of research on some projects that were successful in artificial flooding, it was concluded that in secondary exploitation by water injection the most suitable layers were those with reduced saturation in water, but high saturation in oil.

According to research from practical applications of various projects carried out for the purpose of exploiting deposits, the properties of the deposits are not a determining element when making decisions related to the choice of secondary exploitation methods, either artificial flooding or gas injection.

If there is a high amount of clay minerals in the deposit, it is necessary to pay increased attention, because these minerals can undergo swelling processes that will reduce the quality of the filtration process of the collective layer [4].

II. METODS

The use of one of the two types of injection depends on certain factors: the angle of inclination of the layer, the spatial distribution of production wells, the existence or not of production wells, the action of marginal waters, the shape of the productive zone, the mobility of fluids, the width of the productive zones.

If the inclination angle of the layer is high, then it is preferable to apply the extracontour injection method, because the high inclination can prevent the injection agent from being distributed evenly [5].

- a. The secondary recovery process can be negatively affected as a result of the reduced contact efficiency between the crude oil and the displacement agent given by the high inclination angles;
- b. If the reservoir has a uniform well network with respect to the accumulation area and the water-oil contact line, the implementation of an extracontour injection structure can be justified, i.e. marginal production wells can be transformed into injection wells;
- c. If there are unexploited areas or if the reservoir has not been fully explored, it is desired to exploit the possible remaining resource by drilling several wells using a uniform intracontour injection scheme.
- d. This injection case can be opted for only if there is low water permeability in the strata and therefore the injection wells do not have a large radius of influence, but the effective permeability of the crude oil must not be compromised by the existence of clay content in the reservoir.
- e. Also, the wells must produce crude oil with a percentage of water as low as possible (maximum 20%) and the saturation in the crude oil must be greater than 35-40%;
- f. If the action of the natural marginal water system is not developed or is poorly developed and does not have the power to maintain the reservoir pressure, thus prematurely weakening the reservoir energy, an extracontour injection obtained by placing marginal wells that will increase the energy input from the natural aquifer resulting in a restoration of the layer pressure is preferred;
- g. If the reservoir has an irregular surface, the extracontour injection will not be able to fulfill its role due to the impossibility of uniform displacement of the contact between water and oil;
- h. If the fluids have high mobility, a suitable width of the productive zone, but also the marginal waters are present and slightly active, the use of extracontour injection of water is preferred, but if the fluids present in the collectors have low mobility, intracontour injection will be used.

III. DISCUSSION

The injection of water into the reservoir is based on physical and chemical parameters related either to the injected water itself or to the proper course of the injection.

The relevant factors in this process are: the properties of the reservoir water and oil, molecular-surface phenomena, the amount of interstitial water and therefore the structure of the pore space, the viscosity of the oil, the existence and percentage of impurities in the water.

Among these parameters are the injection flow rate and the injection pressure.

These two parameters are basic and the effectiveness of the injection process depends on them.

For this, they must be monitored and determined continuously: from the beginning to the end of the process.

According to the practice on the construction site, the best effects were given by injecting water into the reservoir naturally, without rushing the injection process; by forcing the process, the displacement agent can slip and will reduce the efficiency of the injection process.

Because of this characteristic, clear results cannot be obtained to find the water flow rate using the steady-state flow relations. In the context of artificially flooded oil fields, the moment when water enters the extraction wells is the dividing stage between the steady flow and the unsteady flow, the steady-state regime being established after the water front reaches the extraction wells.

Until the moment of water entering the wells, the injection is carried out through an unsteady flow due to the excess of the extracted oil flow rates by the injected water flow rates, which fills the pores of the exploited area. The water-oil ratio will increase significantly only after the water enters the extraction wells, then the decrease in cumulative oil production will be felt.

An indispensable condition for the injection process is the accurate determination of the required amount of water for injection, namely the sizing of the water supply sources. To fulfill this condition, it is necessary to formulate an operational, fast and clear method.

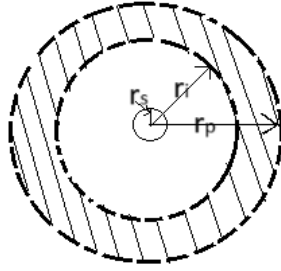


Fig. 1 Sketch of the radial distribution of water injected into the reservoir

If it is considered that by injecting water a radially symmetrical distribution is obtained around the injection well, a determination of the decrease in hydrocarbon saturation and thus the generation of a wave of crude oil in the form of a concentric ring (fig. 1).

It is also considered that the permeability of the layer does not change and that the injected water is free of mechanical impurities and that no chemical reactions can occur with the reservoir water or the rock. Although the viscosity of the oil and the effective permeability are not constant, they will be considered invariable in order to simplify the problem [6].

The volume of water injected into the layer will be:

$$V = h * m * \pi(r_i^2 + r_s^2) \quad (1)$$

Where: r_i – radius of the flooded well

m - effective porosity for the injected water

We assume that the instantaneous injection flow rate corresponds to the equation of stationary planar radial motion

$$Q = \frac{2\pi k_a h (P_{inj} - P_c)}{\mu_a \ln \frac{r_i}{r_s}} \quad (2)$$

Combining the first two equations will result in:

$$\ln \frac{V}{\pi h m r_s^2} = \frac{4\pi (P_{inj} - P_c) h k_a}{Q \mu_a} \quad (3)$$

Equation (3) tells us that the logarithm of the cumulative volume of injected water will vary linearly with the reciprocal of the injection flow rate Q .

If we work with a constant injection pressure, using equation (3) we can determine how the volume of injected water and the flow rate vary over time.

This equation can also be rewritten as:

$$\left[\ln \frac{V}{\pi h m r_s^2} \right] \frac{Q}{r_s^2 \pi h m} = \frac{4\pi \Delta p k_a}{r_s^2 \pi h m \mu_a} \quad (4)$$

If the cumulative volume is denoted by V_{ad} , it can be expressed dimensionlessly with the formula:

$$V_{ad} = \frac{V}{h m \pi r_s^2} \quad (5)$$

Continuing with the derivative of volume V with respect to time which is Q , we arrive at:

$$(\ln V_{ad}) \frac{dV_{ad}}{dt} = \frac{4k_a \Delta p}{\mu_a r_s^2 m} \quad (6)$$

If we separate the variables and integrate, the equation below will result, with t_{ad} being a dimensionless time:

$$1 + V_{ad}(\ln V_{ad} - 1) = \frac{4k_a \Delta p}{\mu_a r_s^2 m} t = t_{ad} \quad (7)$$

If we write the dimensionless flow rate as Q_{ad} :

$$Q_{ad} = \frac{Q \mu_a}{4 \mu k_a h \Delta p} \quad (8)$$

And if, we continue to take into account (5), then (3) can be rewritten as:

$$\ln V_{ad} = \frac{1}{Q_{ad}} \quad (9)$$

Adding the value of V_{ad} from equation e into r, it will result:

$$1 + e^{\frac{1}{Q_{ad}}} \left(\frac{1}{Q_{ad}} - 1 \right) = \frac{4k_a \Delta p t}{\mu_a r_s^2 m} = t_{ad*} \quad (10)$$

The interference period begins after the inflow funnels meet and at this moment the radial water movement of the injected water ends. At the beginning of the interference period the cumulative volume of injected water can be calculated with the relationship:

$$V_i = 0,785 * d^2 * h * m \quad (11)$$

d -distance between injection wells.

The flow to the extraction wells, further after the moment of interference onset, is difficult to calculate when it comes to a quantitative solution.

The method can be applied to all possible well locations, but will be analyzed only in the case of the “five-point” well location.

Even though the calculation of the quantitative analysis during the interference period is more complex, an approximate solution can still be reached if we assume that during this period until the start of the stationary flow period the injection flow rate decreases linearly in time.

For the case of stationary movement at five-point placement, the flow rate has the following formula:

$$Q_0 = \frac{0,0115 * k_a h * \Delta p}{\mu_a (\log \frac{d}{r_s} - 0,42)} \quad (12)$$

The injection flow rate follows a decreasing linear variation in accordance with the extension of the cumulative volume curve of the injected water, until the network element is flooded by the injected water.

This volume can be found by the relationship:

$$V_0 = d^2 * h * m \quad (13)$$

The cumulative volume curve will have a constant slope after the moment of flooding, a slope that will be proportional to the injection flow rate during the period when the movement is stationary.

The interference period will be able to occur in the time interval according to the formula:

$$t_{i-0} = \frac{2(V_0 - V_i)}{Q_0 + Q_i} \quad (14)$$

where:

$t_{(i-0)}$ - represents the time of the interference period,

V_0 – cumulative volume since the beginning of the interference,

V_i - cumulative volume since the beginning of the stationary motion,

Q_0 – characteristic flow rate in stationary motion,

Q_i – characteristic flow rate at the beginning of the interference.

IV. RESULTS

A diagram can be made showing the dependence between $\mu Q/kh\Delta p$ and $k\Delta p t/\mu r^2 s m$ according to equation (10) because all quantities, except Q and t , are constant in this example.

It is also possible to make a dependence V/hm as a function of $k\Delta p t/\mu r^2 s m$ being a complex time. In hydrodynamic analysis it is common to make this diagram w for the unit layer thickness 1 m.

The conclusions drawn after analyzing are [7]:

- in the first 30 days the injection flow rate Q is in a sudden decrease, a decrease given by the filling of the pores saturated with gases with liquid,
- the curve begins to flatten and reaches the beginning of the interference period after 148.4 days from the start of the injection,
- with the help of a curve, during the interference period, the flow rate variation was sketched,
- the curve drawn during the interference period divided the sector into two equal areas,
- although linear variation was involved, the flow rate variation was made on the premise of reality which shows that the variation of Q is smoother during the given period,
- it is seen how the interval of the accentuated flow rate variation is reduced, approximately 13% of the time period until the interference.

In practice, thanks to this observation, we can appreciate that after this period is exceeded the state of the injection flow will become constant.

Having said this we can calculate Q_{inj} as the arithmetic mean between the value at the beginning of the interference interval and the value at the end of the period just mentioned by "13%".

The displacement of the oil by the injected water takes place at a constant pressure which makes it possible to use the following model accordingly [8].

It is found, following the production data, that after a certain threshold of water saturation the parameter k_p/k_a , although the parameter is represented by a fairly wide range of saturation values, will vary linearly.

The k_p/k_a ratio in this range will be represented in analytical form in the following way [9]:

$$k_p/k_a = a * e^{-bs_a} \quad (15)$$

Where: a is the intercept at the origin,
 b is the slope of the line.

In relation to water saturation and using the k_p/k_a relationships it is possible to anticipate the future behavior of the hydrocarbon reservoir, accepting a constant total liquid flow rate on each well.

The conclusions obtained indicated that the average oil saturation has a variation that depends on the cumulative oil extracted and which, being related to the pore volume, can be calculated relatively accurately by the equation:

$$sp_m = N - M * \ln (V - \alpha) \quad (16)$$

M =the value of the slope of the line,

V =the cumulative displacement fluid and oil at reservoir conditions as a function of the pore volume.

$$V = \frac{\Delta N + \Delta w}{v_p} \quad (17)$$

V. CONCLUSION

The critical physical factor in the application of artificial flooding of reservoirs is the injection pressure. The correct determination of its value is given the particularities of each reservoir, through investigations specific to each case.

Depending on the degree of uniformity and consolidation of the reservoirs, we can have the following cases:

- a. For consolidated reservoirs and those that present a higher degree of uniformity, the administration of injection pressures with high values is proposed. These high values are advisable because by obtaining high flow rates as soon as the action on the strata begins, the peak of production is reached much earlier. Thus, a long time is not required for the exploitation of the horizon.
- b. For poorly consolidated reservoirs and those with a low degree of uniformity, the application of injection pressures with high values is not proposed. In this case, the working agent can easily slip through the strata without hydraulic resistance.

Another factor that greatly influences the final recovery factor is given by the flushing properties of the injection waters. These properties are directly dependent on the speed of oil replacement by water or pressure gradients.

- c. If the speed of oil replacement by water is high then under representations of small droplets detached from the base mass of oil, the film tightens after the contact passes into the pores of larger diameters. These droplets cannot move so a high speed of replacement is not recommended.
- d. If the speed of oil replacement by water is low and the water has good flushing properties then the chances that the oil will yield are higher, the above-mentioned droplets becoming movable. Oil production is increasing if there is a high number of small diameter pores.

Important to know for a good recovery factor is that the speed of oil replacement by water must not be higher than the capillary penetration speed of water in short cores.

REFERENCES

- [1] Breitenbach, E. A. Thurnau, D. H. and Van Poolen, H. K. The Fluid Flow Simulation Equations. Paper SPE 2020, presented Symposium on Numerical Simulation of Reservoir Performances, Dallas, Texas, April 22-23, 1968.
- [2] Breitenbach, E. A. Thurnau, D. H. and Van Poolen, H. K. Treatment of Individual Wells and Grids in Reservoir Modelling" Paper SPE 2022, Texas, 1968
- [3] Coats, K. H. „Use and Missuse of Reservoir Simulation Models". În: J. Petr. Tech. Nov. 1969, p. 1391.
- [4] Harris, C. D. „Course Notes on Reservoir Simulation". University of Tulsa, 1976-1977.
- [5] Klinkenberg, L. J. The Permeability of Porous Media to Liquids and Gases". Drill and Prod. Prac. API (1941), p. 200.
- [6] Odeh, A.S. „Reservoir Simulation. What is it? În: J. Petr. Tech. Nov. 1969, p. 1383.
- [7] Peaceman, D. W. "Interpretation of Well-Block Pressures in Numerical Reservoir Simulation", Soc. Petrom. Eng. J., June 1978, p183-194
- [8] Thomas, G. W. and JAGAI, R.R. „Notes on Reservoir Simulation" University of Tulsa, 1975.
- [9] Van Poolen, H. K., Bixel, H. C. and Jargon, J. R. „Reservoir Modeling". În: O.G. J. 1969-1970.

Risk assessment of contaminating liquefied petroleum gas leaks

Al Jaseem Ameer Maki¹, Razvan Gaspar¹ Timur Chis^{2*}, Monica Tegledi³

¹Ph.D. School, Petroleum-Gas University Ploiesti, Romania

²Oil and Gas Engineering Faculty Ploiesti, Romania

³Economic Science Faculty Ploiesti, Romania

*(timur.chis@gmail.com)

Abstract – Technological risk assessment is a complex study, which is based on a series of qualitative and quantitative analysis methods, through which the probability and severity of technological accidents are estimated and the need for accident prevention measures is established. The technological risk assessment process can be divided into four major stages, namely: hazard identification, hazard assessment, risk analysis and risk assessment. This article described risk assessment of the separation installation of the rich gas.

Keywords –Rich gas, risk assement, qualitative and quantitative analysis methods

I. INTRODUCTION

This paper presents the technologies for degasification of well gases with direct application to the treatment of well gases in the Black Sea.

The C3+ fraction can be recovered from natural gas or can result from crude oil refining processes. The C3+ fraction recovered from well gases is practically free of unsaturated hydrocarbons (propylene and butylene) and results from one of the following extraction methods: turboexpander, absorption, compression and adsorption. The choice of process depends on the gas composition and the degree of recovery of ethane and C3+ fraction.

The C3+ fraction recovery facility at Midia is designed to process gases from the Central Platform located offshore the Black Sea.

The LPG produced (mainly C3 and C4) will be stored in the tank farm. LPG can be used as household fuel, automotive fuel or feedstock for various petrochemical processes. The resulting lean gas will be compressed and shipped on the main export pipeline.

In the study conducted by me, I studied all types of installations used for the separation of rich gases, the technology for recovering lean gases by turboexpansion (cryogenics).

I also introduced a study related to the risk assessment based on the event tree in the operation of these installations, which are particularly useful in the oil industry.

II. MATERIALS AND METHOD

Each of these stages contains a series of methods recognized and successfully used worldwide, with which existing hazards can be identified and technological risk can be estimated.

Qualitative analysis involves the use of qualitative criteria, using different categories to separate parameters, with qualitative definitions that establish the scale for each category.

Qualitative decisions are also made, based on expertise in the field, to classify elements into categories. This approach is subjective, but allows a higher degree of generalization, being less restrictive [1].

Quantitative analysis includes the use of numerical or quantitative data and provides quantitative results. This approach is much more objective and precise. It should be noted that quantitative results can be greatly affected by the precision and validity of the input parameters. For this reason, quantitative results in the case of risk analyses should not be considered as exact numbers, but as estimates with a variable scale that depends on the quality of the data.

The methods and techniques for identifying technological hazards and analyzing risks are as follows:

a) Qualitative methods for identifying hazards and estimating risk:

- Analysis of the properties of hazardous substances;
- Checklist method;
- "What If?" analysis method;
- "Preliminary Hazard Analysis" method (PHA);
- "Failure Modes and Effects Analysis" method (FMEA);
- "Hazard and Operability Study" method HAZOP;
- Risk assessment method using the DOW index;
- Determination of probability using Historical Analysis;

b) Quantitative methods for risk analysis:

- Evaluation of the frequency of peak events. Fault Tree;
- Evaluation of the frequency of accident scenarios. Event Tree;
- Analysis of effects and consequences using mathematical modeling and simulation of technological accidents.

III. RESULTS

The sources of risk for the population and the environment, when a contaminating leak of liquefied petroleum gases occurs, which is the basis for the possible origin of accidental consequences, such as fires, explosions or toxic clouds, are generated by the occurrence of accidents, as a result of possible scenarios.

Quantifying the risk for each of the possible scenarios is a technique derived from Quantitative Risk Analysis (QRA), developed for risk assessment in industrial facilities [2].

According to the QRA method, risk is determined by two factors:

- the consequences of an undesirable event;
- the probability of these consequences occurring.

The frequency of accidents and the analysis of undesirable consequences in the case of industrial facilities is obtained from the "Safety Reports" that are prepared in order to establish the fault tree, as well as to assess the dimensions of the risk areas, in particular, to establish safety distances or distances where the consequences of the accident are insignificant [3].

According to the IAEA-TECDOC-727 Method of the International Atomic Energy Agency, for the five categories of hazardous substances – flammable gases and liquids, explosives and toxic gases or liquids – in the case of classifying the effects according to the maximum distance from the effect and the affected area, there are three typical categories of effects (Figure 1):

- category I – the case of explosive detonations affecting a circular surface (Figure 1 a);
- category II – the case of a heavy cloud of flammable gas and/or a cloud caused by the evaporation of a large pool affecting a semicircular surface (Figure 1 b);
- category III – the case of an elongated cloud caused by the dispersion of a large amount of toxic gases (Figure 1 c).

The process of obtaining the risk parameters, required for the assessment of the risk area, requires the study of individual and local risk curves, F-N curves and I-N histograms in order to analyze the source of risk at each stage of the study, preceded by the calculation of vulnerability with Probit equations and the determination of risk depending on the direction and speed of the wind and/or the presence of obstacles.

In order to address the assessment of the level of consequences and the associated level of probability, for the situation of fixed installations, the risk is classified into four categories:

- risk due to toxic dispersion;
- risk due to overpressure;
- risk due to thermal radiation;
- risk due to the projectile effect (comparison with the effect produced by trinitrotoluene).

The risk comparison criteria, from a technical point of view, in terms of the degree of exposure of the population is presented in Table 1.

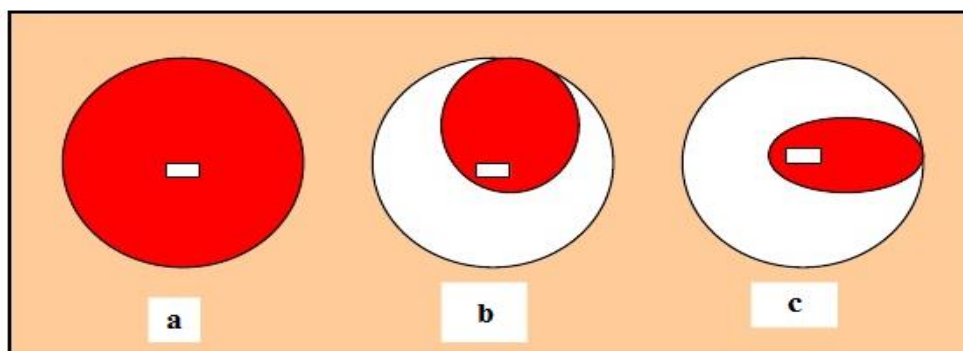


Fig. 1. Representation of typical categories of effects [4].

Table 1. Exposure risk criteria

Effects studied	Criterion corresponding to 1% probability of occurrence of an event	Criterion corresponding to the occurrence of the first irreversible effect
Toxic dispersion	Based on the lethal concentration LC 1% and the exposure time (passage through the gas cloud)	Based on the irreversible effects (first victim) and the exposure time (passage through the gas cloud)
Overpressure	140 mbar	50 mbar
Thermal radiation	5 kW/m ² (if exposure is >1 min) or the thermal load is 1000 [(kW/m ²) ^{4/3}]·s in the case of a short-term exposure durată	3 kW/m ² ((if exposure is 1 min) or the thermal load is 600 [(kW/m ²) ^{4/3}]·s (if exposure is 1 min) or the thermal load is exposure

The QRA method consists of identifying accidental events and combining their frequency of occurrence with the possible consequences that define the proper measure of risk.

The difference between the ART Methods [5,6] and QRA lies in the uncertainty between the occurrence of accidental events and the possible location; for industrial installations, the risk sources and environmental conditions represent a set of already known data, while for transport activities, accidents can occur at any place and under any conditions along the route. The essential data consist of territorial information, such as the accident rate, meteorological conditions, environmental conditions, population risk, which are necessary to establish the frequency of accidents and their consequences. In this regard, an analysis of the route divided into portions is required in accordance with the accuracy and reliability of the data available for the divided portions, reported to the entire route. The risk value can be obtained by combining the frequencies of occurrence for each case with extension to the relevant impact areas, estimated in terms of the analysis of the consequences.

In the case of ART, the risk measure is generally given by the use of F-N (frequency-number of events) curves.

Following a study developed at the University of Queensland, Australia, the risk assessment is made according to a matrix of the form presented in Table 2.

Table 2 Simple risk assessment matrix.

Probability of injury	Severity of consequences				
	Fatalitately	Permanent injury	Hospitalization	Outpatient treatment	First aid
Frequent	Very high	Very high	High	Medium	Low
Ocazională	Very high	High	Medium	Low	Low
Îndepărtată	High	Medium	Low	Low	Very low
Improbabilă	Medium	Medium	Low	Very low	Negligible

A simplified calculation of the risk associated with hazardous chemicals can be derived from the following equations:

Risk = Injury Frequency x Injury Severity, where:

Injury Frequency = Load Frequency x Exposure Probability (where each load is assumed) and noting:

Exposure Probability = Controlled Fall Probability.

Risk = Load Frequency x Controlled Fall Probability or

Risk = Load Frequency x Injury Severity, with the following possible interpretation of the risk:

- Very High/High: the operation cannot be continued until measures are taken to reduce the risk to an acceptable level;
- Medium/Low: the operation is carried out under control as a priority;
- Very Low/Negligible: the risk is insignificant.

Table 3. Stability classes.

Pasquill Index	Turner index	Atmospheric stability	Probability of fire occurrence	Level of wind oscillation for more than 2 hours	Difusion	
					Vertical	Lateral
A	1	Very unstable	Unexpected	more 135°	Very heavy	Very heavy
B	2	Moderately unstable	Intense	105° – 135°	heavy	heavy
C	3	Slightly unstable	Normal	75° – 105°	Moderate heavy	Moderate heavy
D	4	Neutral	Normal	45° – 75°	Moderate heavy	Moderate heavy
E	5	Slightly stable	Normal	15° – 45°	Light	Light
F	6	Moderately stable	Low	Below 15° or very low, rapid and slight variation, variation below 30°	Very light	Very light
G	7	Extremely stable	Low	Below 15° or very low, rapid and slight variation,	Very light	Very light

				variation below 30°		
--	--	--	--	------------------------	--	--

The present study also presents another way of assessing risk based on a nomogram, correlated with territorial information (meteorological conditions, wind direction – Pasquill (Turner) stability class and implicitly the dispersion index with variations from day to night, environmental characteristics – built-up area, soil nature, etc.), population density, etc.

The stability class is very important in firefighting actions and is given by the Pasquill (Turner) index [7,8,9] characteristic for the 7 classes defined according to Table 3.

In a plastic vision, the Pasquill dispersion index is used as in the case of the spread of a snowflake, accepted equations being established for determining the floating distance of the snowflake in relation to the wind characteristics.

According to Table 4, stability classes A, B and C are characteristic of the day, and classes E and F are characteristic of the night; class D is neutral and is characteristic of both day and night. Stability classes are characterized by meteorological conditions such as: wind speed measured at 10 m above the ground and solar radiation during the day or night, as a percentage of the area covered by clouds.

Table 4. Characterization of stability classes.

Wind speed, m/s	Solar radiation received during the day			Cloud cover during the night	
	Hight	Medium	Light	> 50%	< 50%
< 2	A	A – B	B	E	F
2 – 3	A – B	B	C	E	F
3 – 5	B	B – C	C	D	E
5 – 6	C	C – D	D	D	D
> 6	D	D	D	D	D

Note: Class D applies in heavily overcast conditions, day and night at any wind speed.

The smoke dispersion index, Disp Index, is the measure of the dilution power of the atmosphere, and the description and interpretation of the range of smoke dispersion values is given in Table 5.

Table 5. Interpretation of the smoke dispersion index

Dispersion index	Interpretation
> 100	Very good (may indirectly indicate hazardous conditions; indicates controllable fire weather)
61 – 100	Good (typical of values indicating favorable burning weather)
41 – 60	Generally good (afternoon climatological values in most forested areas of the US)
21 – 40	Moderate (stagnation may be accompanied by persistent low wind speed)
13 – 20	Generally low; persistent stagnation (otherwise better than the situation of nighttime values)
7 – 12	Low; stagnation characteristic of the day (but close to or the same as nighttime)
1 – 6	Very low (very common at night; represents most nights in most locations)

The VSBY index represents the risk index produced by the lowest visibility – Low Visibility Occurrence Risk Index (LVORI), was implemented in Florida, USA, and is based on a report on automobile accidents when fog/smoke was the weather-related factor [10].

It has values from 1 to 10, where 1 represents the chance of no low visibility, and 10 the chance of low visibility.

In Europe (France), the VSBY index is called ATMO Index – intended to provide synthetic information on air quality (smog) in large agglomerations – it falls at recommended values between 3 and 7, on a scale (giraffe scale) between 1 and 10, on which 1 represents a good index, and 10 the index of maximum pollution.

The pollution level for the ATMO index 3 – 7 is prescribed at 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$ for ozone, 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$ for nitrogen dioxide and 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$ for sulfur dioxide.

IV. DISCUSSION

The Event Tree is an important tool in consequence analysis. It is used to support the analysis of the probabilities of the various consequences that have been identified during a safety study. Starting from the event that initiates any accident sequence, usually a significant leak, the operation and failure of the safety subsystems are analyzed using a progression logic [11]. This results in a tree-like structure with branches developed from left to right. By establishing a probability for each branch, the probabilities of each possible consequence that follows the initial event can be determined [12].

A particular construction is adopted involving extended branches.

Occasionally, the branches are drawn in any combination that occurs, as is the case with cause-effect diagrams.

The steps in Event Tree Analysis are as follows:

1. Identify the initial event. Typically, this is a breakdown corresponding to the loss of a hazardous substance.
 2. Identify the course of the incident. This step considers attempts to control the situation and reduce the effects.
 3. Build the event tree
 - The event tree is built from left to right.
 - At each node, alternative events are presented that can physically affect the consequences.
 - Event titles are indicated above the node. A response of the type “success yes, or it happened” on the tree branches upward; a response of the type “failure yes, or it did not happen” branches downward.
- Each title is labeled with a letter so that each sequence can be identified by a combination of a single letter. A line above the letter indicates a response to the title of the type “failure yes, or it did not happen”.

4. Classify the consequences of the incident. The Event Tree has been developed until the purpose of the analysis is achieved. It is reasonable to build the tree no later than a major incident.

5. Estimate the probability for each branch in the tree. Each heading in the Event Tree, other than the initiating event, corresponds to a probability of a certain consequence if the preceding event has occurred. Therefore, the probabilities associated with each branch should sum to 1.0.

6. Quantify the consequences and review their accuracy. The frequency of each consequence is determined by multiplying the frequency of the initiating event by the conditional probabilities along each path leading to that consequence. The calculations assume that there is no dependency between events or partial success or failure. The results are checked against the frequencies of occurrence of events in the historical record.

The Event Tree in Figure 2 represents the consequence of a LPG tank leak.

The section where flames affect an LPG tank and are likely to produce a BLEVE explosion has been grossly simplified because many factors are involved [13]. What happens at the source after a flash fire has occurred needs to be described in more detail. The consequences can also be affected by weather.

For example, for a given location and degree of partial tightness, a flash fire is more likely to occur than a vapour cloud explosion under weather conditions involving moderate atmospheric turbulence than under conditions of low atmospheric turbulence.

In general **human error analysis**, in the event of major accidents, decisions are made under time pressure, a very high anxiety and a dynamic evolution of all factors create rapid changes in the situation. Under the effect of fear, natural for humans in these conditions, unexpected changes in behavior may occur, which ultimately create crisis conditions.

Psychologists assure that surprises that occur under time pressure in such a crisis are produced by:

- hostile actions;
- floods;
- strong storms – typhoons;
- chemical dispersion;
- deliberate actions – terrorism.

In crisis conditions, a lucid and experienced analysis must include:

- configuration of the situation;
- assessment of the crisis situation;
- configuration of alternative courses of action;
- development and completion of the action plan;
- implementation of the action plan.

Complex engineering systems require systematic modeling and assessment of knowledge and/or its complements, such as ignorance.

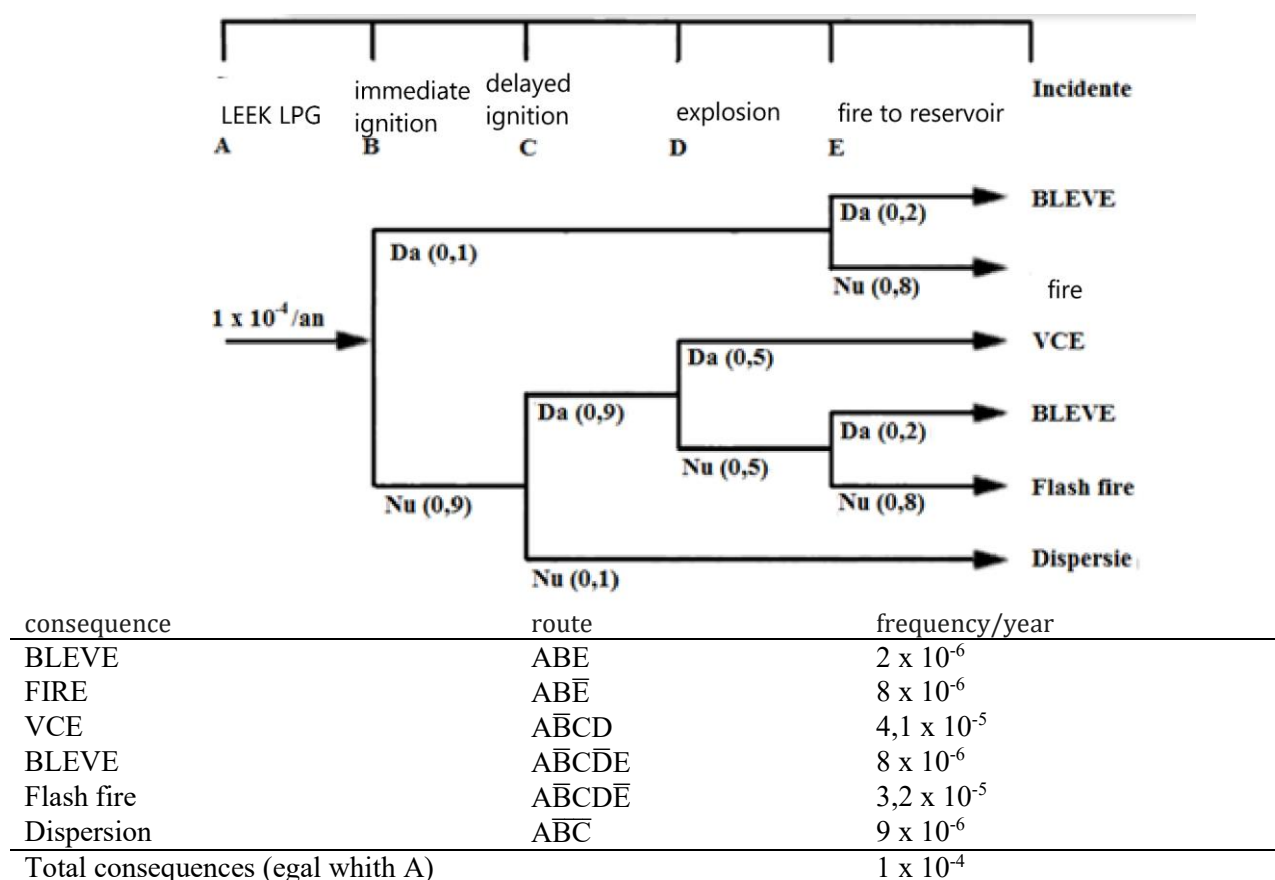


Fig. 2. Event Tree for LPG leaks.

V. CONCLUSION

The safety assessment of a complex system is typically based on the variation of subsystems and their components, which contribute to the achievement of certain or uncertain performances and which modify the criticality of the system.

The adaptation and development of quantitative models and the measures that lead to changes in terms of the various uncertainties are taken into account in the prediction and basic decision-making in the design of complex engineering systems.

The analytical modeling and simulation of engineering systems involves, according to Oberkampf's opinion presented in 1999 at the Forum of Non-deterministic Approaches in Richmond, USA, several typical phases: conceptual modeling of the real system, mathematical modeling of the conceptual model, discretization and algorithm selection, computer programming, numerical solution and finally representation of the numerical solution.

The verification and validation model involves, according to Ayyub, the request for expert opinion, defined as a heuristic process of gathering information and answers to the questions or problems of interest.

The process of requesting expert opinion represents a variety of techniques or scenario analyses (Delphi technique, Fuzzy theory, scenarios based on uncertainty models) with completion in understanding the relationship between knowledge and ignorance.

Analytical modeling and simulation of engineering systems involves several phases that are usually the following:

- conceptual modeling of the real system;
- mathematical modeling of conceptual models;
- algorithm discretization and selection;
- computer programming of the model;
- identification of numerical solutions;
- representation of numerical solutions.

The aspect of the relationship between knowledge and ignorance must be examined, modeled and measured in different stages/phases, in this context being very important the expert's position towards the relative position of ignorance towards the absolute truth.

References

- [1] Rausand, M. și Hoyland, A., System Reliability Theory: Models, Statistical Methods and Applications, Second Edition, John Wiley & Sons, Inc., 2004.
- [2] Wells, G. L., Major Hazards and Their Management, Institution of Chemical Engineers, 1997.
- [3] Shebeko, Y. N.; Korolchenko, A. Y.; Shevchuk, A. P.; Kolosov, V. A. și Smolin, I. M., Fire and Explosion Risk Assessment for LPG Storages, Fire Science & Technology, Vol. 15, nr. 1 și nr. 2, 1995.
- [4] Marzochhi, W.; Mastellone și Di Ruocco, A., Principles of Multi-Risk Assessment: Interaction Amongst Natural and Man-Induced Risks, European Commission, 2009.
- [5] Khan, F. I. și Abbasi, S. A., Risk Assessment in Chemical Process Industries, Discovery Publishing House, New Delhi, 1998.
- [6] Guidance on the Control of Major Hazard Facilities in the ACT, WorkCover, octombrie 2000, <http://www.ors.act.gov.au>
- [7] Mustacq, F., LPG: Lessons Learned from Past Accidents, European Commission – Joint Research Center – Major Accidents Hazards Bureau, 31 ianuarie 2007, <http://mahbsrv.jrc.it>
- [8] HSB PLC, Sphere Storage Risk Evaluation, LG Caltex Oil Corporation.
- [9] Tweeddale, M., Managing Risk and Reliability of Process Plants, Gulf Professional Publishing, 2003.
- [10] Baker R., Future Directions of Membrane Gas Separation Technology, Industrial Engineering Chemical Resources **2002**, 41, pg. 1393-1411,
- [11] Turnock] P. H. , Kadlec R. H. - Separation of Nitrogen and Methane via Periodic Adsorption, Vol. 17, No. 2 AIChE Journal, pg. 335-340, 1970,

- [12] The Mehra Process NGL Recovery and Nitrogen Rejection Units: The Patented NGL Recovery Unit and NRU Technology by Yuv R Mehra (1998),
- [13] Monomer Recovery from Polyethylene Vent Streams: The Patented MRU Technology by Yuv R Mehra (1996),

Kropotkin'in Anarşizm Kuramında Devlet, Kapitalizm ve Özgürlükçü Toplumsal Yapılar

Ömer TAYLAN^{1*}

¹*İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Dicle Üniversitesi, Türkiye*

^{*}[\(otaylantr@gmail.com\)](mailto:otaylantr@gmail.com)

Özet – Bu çalışma, Peter Kropotkin'in anarşist düşüncesini, modern devlet ve kapitalist sistem eleştirisi bağlamında kapsamlı bir biçimde ele almaktadır. Kropotkin, anarşizmi yalnızca devlete yönelik bir karşı duruşla sınırlı tutmaz aynı zamanda kapitalizmin üretim ilişkileri, özel mülkiyet yapısı ve sınıfsal tahakküm biçimlerine karşı da köklü bir eleştiri geliştirir. Ona göre, devlet ile kapitalizm arasındaki yapısal ittifak hem ekonomik sömürü mekanizmalarını hem de toplumsal eşitsizlikleri kurumsallaştırır. Bu bağlamda Kropotkin, üretim araçlarının özel mülkiyetine dayalı kapitalist sistemin yerine kolektif mülkiyete dayalı, yerel düzeyde örgütlenmiş, doğrudan katılıma açık komünal yapılar önermektedir.

Kropotkin'e göre kapitalizm, üretim araçlarının özel mülkiyet temelinde belirli bir sınıfın denetimine bırakılmasıyla toplumsal kaynakların tekelleşmesine, sınıfsal ayrıcalıkların pekişmesine ve yapısal eşitsizliklerin derinleşmesine yol açan bir sistemdir. Bu yapı, yalnızca ekonomik değil aynı zamanda siyasal ve ideolojik tahakküm mekanizmalarıyla da sürdürülür. Kropotkin, kapitalist sistemin, devleti bir baskı aracı olarak kullanarak mülkiyet ilişkilerini meşrulaştırdığını ve koruduğunu savunur. Kropotkin'e göre bu yapısal sömürü, toplumsal dayanışmayı zayıflatır; bireyleri rekabete, güvensizliğe ve yabancılaşmaya iter.

Kropotkin'in kapitalizme karşı önerdiği modelin temelinde gönüllülük, doğrudan demokrasi, eşitlik ve karşılıklı yardımlaşma ilkeleri yer almaktadır. Öyle ki günümüzde çevreci hareketler, yatay örgütlenmeler ve ekolojik anarşizm yaklaşımları, Kropotkin'in karşılıklı yardımlaşma ve iş birliği temelli anlayışından açık bir şekilde etkilendiği görülmektedir. Dolayısıyla Kropotkin'in anarşist kuramı, günümüzün sosyal adaletsizlikleri ve otoriterleşme eğilimleri karşısında hâlâ geçerliliğini koruyan güçlü bir teorik çerçeve sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler – Kropotkin, Anarşizm, Devlet, Kapitalizm ve Gönüllü Toplum

Giriş

19. yüzyılın sonları ile 20. yüzyılın başlarında anarşist düşüncenin kurucu figürlerinden biri olarak öne çıkan Kropotkin, yalnızca devlete yönelik bir karşıtlıkla sınırlı kalmayan, kapitalizmle doğrudan hesaplaşmayı da içeren kapsamlı bir siyasal kuram geliştirmiştir. Kropotkin'in anarşizm anlayışının merkezinde, devletin merkeziyetçi ve baskıcı yapısının bireysel özgürlükleri kısıtlamanın ötesinde, egemen sınıfların çıkarlarını meşrulaştırarak toplumsal eşitsizliği derinleştiren bir araç olarak işlev gördüğü düşüncesi yer alır (Kropotkin, 1902).

Kapitalizmin üretim araçlarının özel mülkiyetine dayalı yapısı, Kropotkin'e göre toplumsal kaynakların tekelleşmesine, sınıfsal ayrıcalıkların pekişmesine ve emek-sermaye arasındaki dengesizliğin derinleşmesine yol açar. Bu nedenle devlet ve kapitalizm, iç içe geçmiş yapılarıyla yalnızca siyasal değil, aynı zamanda ekonomik sömürünün de kurumsal temellerini oluşturur. Kropotkin, bu yapının yerine

Üretim araçlarının kolektif mülkiyetine dayanan, yerel ölçekte örgütlenmiş, özerk ve hiyerarşiden arındırılmış komünal yapılar önermektedir (Kropotkin, 1899).

Kropotkin'in önerdiği alternatif toplumsal model, teorik olduğu kadar pratik yönleriyle de dikkat çeker. Yerel düzeyde öz-yönetime dayalı federatif sistem nerisi, merkezi otoriteye ve temsili demokrasiye karşı doğrudan katılımı esas alır. Bu model, sadece devletin ortadan kaldırılmasını değil, aynı zamanda eşitlikçi ve özgürlükçü bir toplumsal düzenin inşasını hedefler (Kropotkin, 1887).

Kropotkin'in düşüncesi, 20. yüzyıl boyunca birçok anarşist ve sosyalist kuramcı tarafından geliştirilmiş; onun devlet, kapitalizm ve toplumsal eşitsizliklere ilişkin eleştirileri, günümüz anarşist kuramlarının şekillenmesinde temel referanslardan biri olmayı srdrmştir. Bu bağlamda Kropotkin'in anarşizmi, sadece tarihsel bir düşünsel miras değil, ağdaş toplumsal ve siyasal dönüşüm arayışlarında da canlılığını koruyan güçlü bir kuramsal ereve sunmaktadır.

Kropotkin'in Anarşizm Anlayışı

Kropotkin'in anarşist kuramının temel bileşenlerinden biri hem doğa hem de toplum düzeyinde karşılıklı yardımlaşma ve iş birliğinin merkezi rolüne yaptığı vurgudur. Kropotkin, *Mutual Aid: A Factor of Evolution* adlı eserinde, evrimsel süreçlerin yalnızca rekabete değil, aksine türlerin hayatta kalmasında kolektif dayanışmanın belirleyici olduğuna işaret eder. Bu gözlemden hareketle, insan toplumlarında da dayanışmanın, sosyal düzenin temel belirleyeni olması gerektiğini savunur. Kropotkin'e göre, yardımlaşma eğilimi insan doğasında içkin bir potansiyeldir ve toplumsal ilişkiler bu potansiyel doğrultusunda örgütlenmelidir (Kropotkin, 1902).

Anarşizmi, yalnızca devletin ortadan kaldırılması olarak görmeyen Kropotkin, bu boşluğun yerine geebilecekle alternatif toplumsal modeller de önerir. Doğrudan katılıma ve karşılıklı rızaya dayanan, hiyerarşiden arındırılmış komünal yapılar, onun modelinde uygulanabilir bir dönüşüm projesi olarak sunulmaktadır. Bu model, bireylerin öz-yönetimi temelinde, eşitlikçi ve dayanışmacı ilkelerle şekillenen bir toplumsal düzenin mümkün olduğunu ileri sürer (Kropotkin, 1902).

Kropotkin'in anarşist kuramı, bireysel özgürlüğü merkeze almakla birlikte, bu özgürlüğün ancak eşitlikçi bir toplumsal yapının varlığıyla sürdürülebilir olacağını ileri sürer (Kropotkin, 1967). Özgürlüğün, toplumdaki yapısal eşitsizlikler ve tahakküm biçimleriyle mücadele edilmeden gerçek anlamda hayata geçirilemeyeceği düşüncesi, onun anarşizmini normatif bir ahlaki duruşun ötesine taşıyarak kapsamlı bir toplumsal teoriye dönüştürür.

Kropotkin'in anarşist düşüncesinin ağdaş toplumsal teorilerle de etkileşimde olduğu söylenebilir. Günümüzde özellikle çevreci hareketler ve ekolojik anarşizm yaklaşımları, Kropotkin'in doğaya ve karşılıklı bağımlılığa ilişkin fikirlerini yeniden yorumlayarak sürdürülebilir, yatay ve eşitlikçi toplum modelleri geliştirme yönünde kullanmaktadır. Ekosistemlerin işleyişinde görülen karşılıklı bağımlılık ve simbiyotik ilişkiler, Kropotkin'in toplumsal organizasyon anlayışıyla güçlü paralellikler göstermekte ve onun fikirlerinin güncel sosyal, ekonomik ve çevresel meselelerde hâlâ geçerliliğini koruduğunu ortaya koymaktadır.

Kropotkin'in Devlet Eleştirisi

Kropotkin'in anarşist kuramındaki en temel unsurlardan biri, devlet kurumuna yönelik kapsamlı eleştirisidir. Bu eleştiri yalnızca bir otorite karşıtlığı ile sınırlı olmayıp, devletin toplumsal ilişkileri biçimlendirme gücüne ve bu ilişkilerde eşitsizliği kurumsallaştıran rolüne yönelik derinlemesine bir

özömlleme sunar. Kropotkin'e göre devletin özü, otoriteye ve hiyerarşıye dayanır; bu yapı ise bireylerin özerk biçimde kendilerini yönetme yetilerini köreltir (Kropotkin, 1892; Torun, 2007).

Devletin aynı zamanda kapitalist üretim ilişkilerini destekleyen bir yapı olduğunu vurgulayan Kropotkin, bu açıdan devlet ile kapitalizm arasındaki karşılıklı bağımlılığı da eleştirir. Kapitalist sınıfların, devlet aygıtını kullanarak ekonomik kaynaklar ve üretim araçları üzerinde egemenlik kurduklarını savunur. Bu egemenlik biçimi, sadece mülkiyetin değil, aynı zamanda toplumsal yaşamın tüm boyutlarının sınıfsal çıkarlar doğrultusunda düzenlenmesine neden olur. Böylece devlet, kapitalizmin yeniden üretiminde işlevsel bir rol üstlenerek, eşitsizliği ve sömürüyü kurumsallaştırır (Kropotkin, 1887).

Kropotkin'e göre, devletin en büyük tehdidi, hiyerarşik ilişkiler aracılığıyla bireyler arasında eşitliği imkânsız hale getirmesidir. Devletin varlığı, bireylerin birbirleriyle yatay ve eşit ilişkiler kurmasına engel olur; bunun yerine, toplum egemen–ezilen ikilikleri temelinde yeniden inşa edilir. Bu yapı, adaletin önüne geçer ve toplumsal dayanışmayı zayıflatır. Kropotkin, bu soruna karşı, merkezîyetçi otoritelerden arındırılmış, yerel düzeyde özerk işleyişe sahip komünler ve federasyonlar önerir. Bu yapılar, karar alma süreçlerine halkın doğrudan katılımını esas alarak, hiyerarşik tahakkümü ortadan kaldırmayı amaçlar (Kropotkin, 1902).

Kropotkin, devletin eğitim, hukuk ve medya gibi araçlarla düşünsel hegemonya kurduğuna işaret etmeye çalışır. Bu bağlamda devlet, yalnızca kamusal alanı düzenlemekle kalmaz aynı zamanda bireylerin dünyayı algılama biçimlerini de belirler. Dolayısıyla Kropotkin'in eleştirisi, devletin görünür baskı mekanizmalarının ötesine geçerek, düşünsel bağımsızlığı zedeleyen ideolojik aygıtlarına da yönelir. Ona göre, devletin bu hegemonik etkisi, bireyler arası güveni ve iş birliğini de zayıflatarak, toplumu rekabetçi ve bireyci ilişki biçimlerine yönlendirir (Kropotkin, 1892).

Kropotkin'in sunduğu alternatif yapı önerileri, teorik bir ütopyadan ziyade, uygulanabilir toplumsal örgütlenme biçimlerini içermektedir. Bu yapıların temelinde, gönüllülük, eşitlik ve doğrudan demokrasi ilkeleri yer almaktadır. Federasyonlar ve özyönetim esasına dayalı komünler, bireylerin birlikte karar aldığı, kaynakları ortaklaştırdığı ve karşılıklı yardımlaşmaya dayalı yaşam alanlarıdır. Bu yönüyle Kropotkin'in yaklaşımı, yeni bir toplumun nasıl inşa edilebileceğine dair somut yönelimler içermektedir (Kropotkin, 1902).

Kropotkin'in Kapitalizm Eleştirisi

Kropotkin, devletin toplumsal yapıları nasıl dönüştürdüğüne dair yaptığı eleştirinin yanı sıra, ekonomiyi de kapsamlı bir şekilde sorgular. Kropotkin, devletin kapitalizmi destekleyen, toplumsal eşitsizliği derinleştiren bir yapı olarak işlediğini vurgular. Bu bağlamda, Kropotkin'in ekonomik eleştirisi yalnızca üretim ilişkilerinin adaletsizliğini ele almakla kalmaz, aynı zamanda devletin bu ilişkilerin adaletsiz doğasını nasıl meşrulaştırdığını da açıklığa kavuşturur. Kropotkin'e göre, kapitalizm ve devlet arasındaki ilişki, toplumu egemen sınıfların çıkarlarına hizmet eden bir düzene sokarken, halkın özgürlüğünü ve eşitliğini sürekli olarak engellemektedir (Kropotkin, 1887; Kropotkin, 1902).

Kropotkin'in ekonomik eleştirisinin merkezinde, üretim araçlarının özel mülkiyeti yer alır. Kapitalist ekonomide üretim araçlarının belirli bir sınıfın kontrolünde olması, toplumsal kaynakların adaletsiz dağılımına ve emeğin sistematik olarak sömürülmesine neden olur. Bu sistem, emekçilerin ve genel olarak halkın, kendi üretimleri üzerindeki denetimini kaybetmesine yol açar. Kropotkin, devletin bu düzende yalnızca hakem ya da düzenleyici bir rol oynamadığını; bilakis egemen sınıfların çıkarlarını koruyan ve kapitalist mülkiyet ilişkilerini güvence altına alan aktif bir araç olduğunu savunur (Graeber,

2004). Bu nedenle, devletin meşruiyeti, kapitalist eşitsizliklerin devamlılığını sağlamadaki işleviyle doğrudan ilişkilidir.

Bu eleştirinin en önemli yönlerinden biri, kapitalizmin doğasında bulunan rekabetin toplumsal dayanışmayı zayıflatmasıdır. Kropotkin, doğadaki karşılıklı yardımlaşma örneklerinden hareketle, toplumsal evrimin temelinde iş birliğinin yattığını öne sürer. Oysa kapitalist sistem, bireyler arasında sürekli bir çıkar çatışması yaratır; rekabeti yüceltirken dayanışma ve ortak fayda ilkelerini marjinalleştirir. Bu bağlamda, Kropotkin'e göre, devlet yalnızca bu rekabet ortamını düzenlemekle kalmaz aynı zamanda onu teşvik eder; böylece bireyler arasındaki yabancılaşma ve toplumsal bölünme daha da derinleşir (Kropotkin, 1902).

Kapitalizm ve devlet arasındaki karşılıklı bağımlılık, Kropotkin'in sistem eleştirisinin temel taşıdır. Kapitalist piyasa yapısı, servet birikimini belirli bir sınıfın elinde yoğunlaştırırken, devlet bu yapının korunmasını sağlayan bir şemsiye görevi görür. Bu durum, yalnızca ekonomik adaletsizliği pekiştirmekle kalmaz aynı zamanda halkın özgürlük ve eşitlik taleplerinin bastırılmasına da zemin hazırlar. Kropotkin'e göre, bu yapının sürdürülebilirliği, devletin otoritesi ile kapitalist sermaye arasında kurulan yapısal ittifaka dayanır (Kropotkin, 1887; Graeber, 2004). Dolayısıyla devletin ve kapitalizmin toplumda yarattığı eşitsizlikleri ortadan kaldırmak için, üretim araçlarının toplumsal mülkiyetine dayalı bir düzenin kurulması gerektiğini savunur. Bu düzenin, özel mülkiyetin ortadan kaldırılmasıyla mümkün olacağına inanır. Üretim araçları, toplumun ortak malı haline getirilmelidir ve bu üretim süreçleri, insanların ortak yararına, eşitlikçi bir şekilde işlenmelidir (Kropotkin, 1892). Bu dönüşüm, halkın kendi işlerini kendisinin yönettiği, eşitlikçi bir üretim sistemi kurmasına olanak tanır.

Kropotkin'in Önerdiği Toplumsal Modeller

Kropotkin'in önerdiği toplumsal modeller, merkeziyetçilik ve zorlayıcı otoriteye karşı, yerel düzeyde özyönetimi esas alan komünler üzerine inşa edilmiştir. Bu modeller, bireylerin doğrudan katılımıyla işleyen, karar alma süreçlerinde eşit söz hakkı tanıyan ve kolektif yaşamın ihtiyaçlarını karşılıklı yardımlaşma yoluyla karşılayan bir toplumsal örgütlenme biçimini temsil eder. Yerel komünler, bireylerin özgür iradeleriyle yönettikleri, hiyerarşiden arındırılmış mikro topluluklar olarak, devletin yerine geçebilecek demokratik ve katılımcı yapılar olarak tasarlanmıştır. Bu bağlamda komünler, yalnızca küçük ölçekli yönetim birimleri değil, aynı zamanda özgürlükçü bir toplumun temel yapı taşlarıdır. Kropotkin'e göre, insanlar doğaları gereği iş birliğine ve dayanışmaya yatkındır. Dolayısıyla, toplumsal ilişkilerin bu eğilimler üzerine kurulması, baskıya ve zorlamaya dayalı yapılardan daha sürdürülebilir ve adil bir düzenin ortaya çıkmasını sağlar (Kropotkin, 1902).

Kropotkin'in toplumsal modelinde komünler tek başına değil, birbirleriyle dayanışma içinde çalışan federasyonlar aracılığıyla bütünsel bir yapı oluşturur. Federasyonlar, yerel komünlerin ortak hedefler doğrultusunda iş birliği yapmalarını sağlayan yatay örgütlenme biçimleridir. Bu yapı, merkezi bir otoriteye ihtiyaç duymadan, farklı toplulukların ortak karar alma süreçlerine katılabildiği demokratik bir çerçeve sunar. Federatif model, her komünün özerkliğini korurken, aynı zamanda daha geniş ölçekte kolektif eylemi mümkün kılar. Bu sistem, devletin hiyerarşik ve tektipleştirici doğasına karşı, çoğulculuğa, yerel özerkliğe ve eşitliğe dayalı bir alternatifi temsil etmektedir (Kropotkin, 1889).

Kropotkin'in devlet karşıtı toplumsal modelinde, ekonomik yaşamın merkezi denetim yerine yerel komünler tarafından yönetilmesi, bireylerin doğrudan üretim ve paylaşım süreçlerine katılımıyla sağlanacaktır. Böylece üretim ve tüketim ilişkileri, adil kaynak dağılımını mümkün kılacak şekilde yapılandırılacaktır. Kropotkin'in tasavvur ettiği bu kolektif ekonomik model, toplumsal eşitsizliklerin ve

sınıfsal ayrıcalıkların ortadan kaldırılmasını hedefler. Toplumsal mülkiyete dayalı üretim biçimleri hem ekonomik hem de siyasal anlamda bireylerin özgürleşmesini sağlayacak temel araçlardan biridir.

Kropotkin'in ortaya koyduğu komünler, federasyonlar ve toplumsal mülkiyet önerileri, devlete ve kapitalizme karşı güçlü bir alternatif oluşturmanın yollarını sunar. Bu önerilerin pratiğe dökülmesi, yalnızca devleti ve kapitalizmi ortadan kaldırmayı değil, aynı zamanda bu sistemlerin neden olduğu adaletsizlikleri ve baskı biçimlerini aşmayı da amaçlamaktadır. Kropotkin'in alternatif yapılar üzerine geliştirdiği model, çağdaş toplumsal adalet mücadelelerine ışık tutmakta ve özgürlükçü politik vizyonlara tarihsel bir derinlik kazandırmaktadır (Kropotkin, 1902).

Sonuç Yerine: Kropotkin'in Mirası ve Anarşizmin Geleceği

Kropotkin'in devlete ve kapitalist düzene yönelttiği eleştiriler, mevcut yapılarla hesaplaşmanın ötesine geçerek, toplumsal yaşamın nasıl dönüştürülebileceğine dair kapsamlı bir vizyon sunar. Devletin baskıcı mekanizmalarına ve kapitalizmin yarattığı eşitsizliklere karşı çıkan Kropotkin, bu yapıların tasfiyesiyle birlikte alternatif bir toplumsal düzenin inşa edilmesi gerektiğini savunmuştur. Onun düşüncesinde anarşizm, salt bir karşı çıkış değil, halkın doğrudan katılımına, karşılıklı yardımlaşmaya ve eşitliğe dayalı bir yaşam biçiminin kurucu ilkesi olarak ele alınır.

Kropotkin'in önerdiği komünal örgütlenmeler ve yerel federasyonlar, merkeziyetçiliği reddederken bireylerin karar alma süreçlerine doğrudan dahil olduğu özerk bir toplum düzenini hedefler. Bu yapıların işleyişi, hiyerarşik ilişkiler yerine yatay ve katılımcı bir yapılanmaya dayanır. Toplumsal dayanışma, kolektif üretim ve kaynakların adil paylaşımı gibi ilkeler, bu düzenin sürdürülebilirliğini sağlayan temel dinamikler olarak öne çıkar.

Günümüzün küresel ölçekte yaşadığı yapısal krizler – ekonomik eşitsizlik, ekolojik yıkım, otoriterleşme ve toplumsal yabancılaşma – Kropotkin'in düşünsel çerçevesini yeniden değerlendirmeyi gerekli kılmaktadır. Neoliberal politikaların derinleştirdiği sosyal adaletsizlikler karşısında ortaya çıkan dayanışma ağları, yerel inisiyatifler ve yatay örgütlenmeler, anarşist ilkelerin çağdaş yansımaları olarak değerlendirilebilir. Bu bağlamda, Kropotkin'in ortaya koyduğu kuramsal zemin, yalnızca tarihsel bir önem taşımakla kalmaz aynı zamanda mevcut toplumsal mücadelelere yön verebilecek güncel bir kaynak niteliği de taşır.

Anarşizmin geleceği, devletsiz bir toplum tahayyülünün ötesinde, özgürlükçü ve eşitlikçi bir yaşamın nasıl mümkün olabileceğine dair somut bir yol haritası sunar. Yerel demokrasi, kolektif üretim ve doğrudan katılım gibi ilkeler, giderek artan sosyal adaletsizliklere karşı alternatif bir model oluşturma potansiyeline sahiptir. Bu açıdan bakıldığında, Kropotkin'in anarşizmi, günümüzün toplumsal dönüşüm arayışlarına teorik derinlik ve pratik ilham kazandırabilecek güçlü bir zemin sunmaktadır.

Kaynakça

Graeber, D. (2004). *Fragments of an Anarchist Anthropology*. Prickly Paradigm Press.

Kropotkin, P. (1887). *Anarchist Communism: Its Basis and Principles*. London: Freedom Pamphlets.

Kropotkin, P. (1889). *Anarchist Morality*. London: Freedom Press.

Kropotkin, P. (1892). *The Conquest of Bread*. London: William Heinemann.

Kropotkin, P. (1899). *Fields, Factories and Workshops*. London: Thomas Nelson and Sons.

Kropotkin, P. (1902). *Mutual Aid: A Factor of Evolution*. London: William Heinemann.

Kropotkin, P. (1967). *Anarşizm Felsefesi-Ülküsü*. (Çev: N. Sel), İstanbul: Habora Kitabevi.

Torun, Y. (2007). *Klasik Anarşizm: Godwin, Proudhon, Bakunin, Kropotkin*. Ankara: Savaş Yayınevi.