

IMASCON 2025 SPRING

MAY 16-17, 2025 KOCAELİ / TÜRKİYE

14. INTERNATIONAL MARMARA SCIENCES CONGRESS

SCIENCES PROCEEDINGS BOOK



IMASCONGRESS

WWW.IMASCON.COM





IMASCON 2025 SPRING

INTERNATIONAL MARMARA SCIENCES CONGRESS

SCIENCES PROCEEDINGS BOOK

MAY 16-17, 2025

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ ANITPARK KAMPÜSÜ

KOCAELİ / TÜRKİYE

www.imascon.com

info@imascon.com

ISBN: 978-625-00-6881-6

EDITORS

- Prof. Dr. Arif Özkan, Kocaeli University
- Assoc. Prof. Dr. Serdar Biroğul, Düzce University
- Assoc. Prof. Dr. Ömer Güngör, Kocaeli University
- Lecturer Dr. Mustafa Of, Kocaeli University
- Lecturer İsmail Kılıçaslan, Kocaeli University
- Lecturer Kazım Kahraman, Kocaeli University
- Dr. Çağatay Taşdemirci, Anglia Ruskin University

All Rights Reserved

All Responsibilities of The Articles Belong to The Authors

SUPPORTERS



Dear participants,

IMASCON 2025 SPRING Congress is an internationally recognized academic event. With this congress, where face-to-face and remote participation is supported, you will have the opportunity to present your scientific publications. Our congress, which is attended by respected names in the scientific community, is a candidate congress to bring new horizons to science.

From 11 countries 293 participants applied to the congress. Participants presented their papers for two days in the congress.

We are also grateful to the esteemed participants, our keynote speakers, our referees for their support and contributions to the success of this congress. Thank you for attending our academic event and supporting us.

The IMASCON congress will be held every year by raising its target higher. It will reach out to wider communities and increase the number of papers and participants.

Any kind of feedback about the congress is very important to us. You can reach our congress from our web page, info@imascon.com e-mail address and official social media accounts.

IMASCON ORGANIZING COMMITTEE

10.06.2025



KEYNOTE SPEAKERS



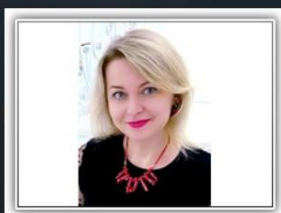
PROF. DR. LUÍS M. F. ROSEIRO

Instituto Politécnico de Coimbra, Portugal



PROF. DR. FLORA MERKO

Aleksander Moisiu Durres University, Albania



PROF.DR. LYUDMYLA SYMOCHKO

Uzhhorod National University, Ukraine, Coimbra University, Portugal



ASSIST.PROF.DR. KEISUKE WAKIZAKA

Japan



DR. DAN ROBBINS

Anglia Ruskin University, United Kingdom

SCIENCE COMMITTEE

Listed in alphabetical order

- Prof. Dr. Ahmet Küçük, Kocaeli University
- Prof. Dr. Ahmet Duran Şahin, İstanbul Teknik University
- Prof. Dr. Alaeddin Bobat, Kocaeli University
- Prof. Dr. Arif Özkan, Kocaeli University
- Prof. Dr. Ayşe GÜNSEL, Kocaeli University
- Prof. Dr. Engin Özdemir, Kocaeli University
- Prof. Dr. Fatma Çanka Kılıç, Kocaeli University
- Prof. Dr. C. Gazi Uçkun, Kocaeli University
- Prof. Dr. Hanefi Bayraktar, Atatürk University
- Prof. Dr. Hasan Latif, Kocaeli University
- Prof. Dr. Hristo Ivanov Katrandzhiev, Marketing and Strategic Planning, University of National and World Economy, Bulgaria
- Prof. Dr. Hüseyin Dikme, İstanbul Gelişim University
- Prof. Dr. Hysen Mankolli, Editor of IJEES, Health and Environment Association, U.S.A.
- Prof. Dr. İlyas Uygur, Düzce University
- Prof. Dr. Juan Carlos, ROCA UNIVERSITY OF HUELVA, İspanya
- Prof. Dr. Kadri Süleyman Yiğit, Kocaeli University
- Prof. Dr. Luis M. F. Roseiro, ISEC
- Prof. Dr. Maan T. J. MAAROOF, Mousul University, Veterinary Faculty, Animal Health & animal Hygiene Department, Mousul, Iraq
- Prof. Dr. Mahmut Durmuş, Gebze Teknik University
- Prof. Dr. Mehmet Demirtaş, Bitlis Eren University
- Prof. Dr. Melda Yardımoğlu Yılmaz, Kocaeli University
- Prof. Dr. Mustafa Yaşar, Karabük University
- Prof. Dr. Nardane Yusifova, Azerbaijan Milli ilimler Akademisi, Milli Tarih Müzesi
- Prof. Dr. Novo Palakalovic, Faculty of Economics, University of East Sarajevo, Bosnia and Herzegovina
- Prof. Dr. Olena Demyanyuk, Institute of Agroecology and Environmental Management, Kyiv, Ukraine
- Prof. Dr. Orhan Gezici, Ömer Halis Demir University
- Prof. Dr. Osman Taylan, King Abdulaziz University, Saudi Arabia
- Prof. Dr. Özgür Sarı, Sinop University
- Prof. Dr. Resul Kara, Düzce University
- Prof. Dr. Sibel Zor, Kocaeli University
- Prof. Dr. Şükrü Dursun, Konya Teknik University
- Prof. Dr. Şükran Güzin Ilıcak Aydınalp, İstanbul Gelişim University
- Prof. Dr. Tamara Milenkovic Kerkovic, Faculty of Economics, University of Nis, Serbia
- Prof. Dr. Erdiñ Doğancı, Kocaeli University
- Assoc. Prof. Dr. Ednan Ayyaz, Kocaeli University
- Assoc. Prof. Dr. Ayşegül Türk, Ankara Hacı Bayram Veli University
- Assoc. Prof. Dr. Azeta Tartaraj, Aleksander Moisiu Durres University, Dean of Economic Faculty, Albania
- Assoc. Prof. Dr. Flora Merko, Aleksander Moisiu Durres University, Business Faculty, Albania

- Assoc. Prof. Dr. Eda Bezhani, Aleksander Moisiu Durres University, Business Faculty, Albania
- Assoc. Prof. Dr. Elif Şenkuytu, Atatürk University
- Assoc. Prof. Dr. Brunela Trebicka, Aleksander Moisiu Durres University, Business Faculty, Albania
- Assoc. Prof. Dr. Etem Yeşilyurt, Akdeniz University
- Assoc. Prof. Dr. Ercan Arpaz, Kocaeli University
- Assoc. Prof. Dr. Derya Davarcı, Gebze Teknik University
- Assoc. Prof. Dr. Lyudmyla Symochko, Uzhhorod National University, Ukraine
- Assoc. Prof. Dr. Mehboob Nagarbawdi, Aki's Poona College Of Arts, Science Commerce, India
- Assoc. Prof. Dr. Mehmet Kerim Güllap, Atatürk University
- Assoc. Prof. Dr. Nagip Skenderi, Faculty of Economy, University of Prishtina, Kosovo
- Assoc. Prof. Dr. Natalya Gudkova, The State Ecological Academy, Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine
- Assoc. Prof. Dr. Nermin Demirkol, Kocaeli University
- Assoc. Prof. Dr. Ömer Güngör, Kocaeli University
- Assoc. Prof. Dr. Taner Erdoğan, Kocaeli University
- Assoc. Prof. Dr. Ylber Aliu, AAB College, Public Administration Faculty, Kosovo
- Assoc. Prof. Dr. Yoshito Ando, Kyushu Institute of Technology
- Assoc. Prof. Dr. Fatih Koç, Kocaeli University
- Assoc. Prof. Dr. Halil Atmaca, Artro Klinik
- Assoc. Prof. Dr. Hasan Kaya, Kocaeli University
- Assoc. Prof. Dr. Hülya Ünver, Düzce University
- Assoc. Prof. Dr. Samad Rahimi Aghdam, Tabriz University
- Assoc. Prof. Dr. Seher Uçkun, Kocaeli University
- Assoc. Prof. Dr. Selda Uca, Kocaeli University
- Assoc. Prof. Dr. Serpil Özkurt Sivrikaya, Kocaeli University
- Assoc. Prof. Dr. Sinan Aydın, Kocaeli University
- Assist. Prof. Dr. Mazin Nazar Fadhel, College of Environmental Science and Technology Mosul university, Mosul, IRAQ
- Assist. Prof. Dr. Mehlika Kocabaş Akay, Kocaeli University
- Assist. Prof. Dr. A. Arzu Arı Bural, Kocaeli University
- Assist. Prof. Dr. Aslıhan Kuyumcu Vardar, Düzce University
- Assist. Prof. Dr. Berna Kavaz Kındıgılı, Atatürk University
- Assist. Prof. Dr. Fatih Sevgi, Selçuk University
- Assist. Prof. Dr. Handan Özçelik Bozkurt, Sinop University
- Assist. Prof. Dr. İpek Sucu, İstanbul Gelişim University
- Assist. Prof. Dr. Keisuke Wakizaka, İstanbul Gelişim University
- Assist. Prof. Dr. Oğuz Polatel, Kocaeli University
- Assist. Prof. Dr. Larissa Shragina, Odessa I. I. Mechnikov University
- Assist. Prof. Dr. Rüştü Taştan, Kocaeli University
- Assist. Prof. Dr. Seyil NAJIMUDINOVA, Kırgızistan Türkiye Manas University
- Assist. Prof. Dr. Vedat Tümen, Bitlis Eren University
- Assist. Prof. Dr. Vystavkina Daria, Odessa I. I. Mechnikov University
- Assist. Prof. Dr. Yusuf Budak, Kocaeli University
- Assist. Prof. Dr. Haifa Ben Aziza
- Asisst.Prof. Dr. Asmae Bouziani

- PTech. Dr. Noor Zaitun Yahaya, Universiti Malaysia Terengganu, Malaysia
- PTech. Dr. Isma Rosila, Universiti Malaysia Terengganu, Malaysia
- Phd. Alba Ramallari, Economics Department Faculty of Bussines “Aleksandër Moisiu” University Durrës, Albania
- Phd. Alma Zisi, Economics Department Faculty of Bussines “Aleksandër Moisiu” University Durrës, Albania
- PhD. Blerina Vrenozi, Tirana University, Albania
- Phd. Daniela Lika, Aleksander Moisiu Durres University, Albania
- PhD. Gülşah Keklik, İstanbul Technical University
- PhD. Mirela Alushllari, University of Albania, Albania
- PhD. Jonida Gashi, Aleksander Moisiu Durres University, Albania
- PhD. Olta Nexhipi, “Aleksandër Moisiu” University Durrës, Albania
- PhD. Violeta Neza, Aleksander Moisiu Durres University, Albania
- PhD. Ariola Harizi, Aleksander Moisiu Durres University, Albania
- PhD. Saeid Shojaei, University of Tabriz Department of Electronics and Photonics
- PhD. Ada Aliaj, “Aleksandër Moisiu” University Durrës, Albania
- PhD. Moses M. Solomon, King Fahd University of Petroleum and Minerals
- PhD. Emma Gurashi Nikolaoy, University Of Patras, Greece
- PhD. Hisham M. Alidrisi, King Abdulaziz University, Saudi Arabia
- PhD. Ruhan Özel, Kocaeli University, Türkiye
- PhD. Thawee Numsakulwong, Rajamangala University of Technology Isan, Tayland
- PhD. Reyhan Dadash, Azerbaijan Devlet Pedagoji University, Edebiyat, Azerbaijan
- Lecturer Dr. Barış Demir, Kocaeli University
- Lecturer Dr. Mustafa Of, Kocaeli University
- Lecturer Dr. Soner Enekci, Kocaeli University

CONTENTS

ABSTRACTS / POSTERS	13
MORPHOLOGICAL STRUCTURE OF TITANIA NANOPARTICLES (TiO₂-NPS) DEPOSITED BY THERMAL EVAPORATION AND ELECTRICAL PARAMETERS OF THE INTERLAYERED AL/TiO₂-NPS/P-Si CONTACTS	14
SIMULATION ASSISTED PRODUCTION OF FASTENER WITH HIGH HEAD DIAMETER AND SW4 END FORM IN COLD FORGING PROCESS.....	15
A NEW APPROACH TO UAV TEST PILOT TRAINING.....	16
ENAMEL COATING PROCESSES ON DC04EK AND DC04ED QUALITY SHEETS, IMPROVEMENT OF ENAMEL QUALITY AND PERFORMANCE	17
EFFECT OF ALTERNATING CURRENT INTENSITY ON HYDRATION TEMPERATURE IN NANO SILICA MODIFIED FRESH MORTARS.....	18
SUSTAINABILITY PERCEPTIONS OF KOCAELI UNIVERSITY STUDENTS	19
ADJUSTMENT OF SERVO MOTOR GAINS IN LASER CUTTING MACHINES USING IMAGE PROCESSING-SUPPORTED FUZZY LOGIC METHOD.....	20
CHARACTERIZATION OF THIN WALLED NICKEL ALLOY JOINED BY LASER BEAM WELDING.....	21
GENERATIVE AI-SUPPORTED USER INTERFACE DESIGN	22
DESIGN OF A REAL-TIME MOTION DETECTION AND ALARM SYSTEM	23
PATENT DATA ANALYSIS BASED ON DEFENSE TECHNOLOGIES	24
FACTORS OTHER THAN COURSE CONTENT SUPPORTING PRESERVICE TEACHERS' TPACK DEVELOPMENT	25
CELLULAR AND MOLECULAR INVESTIGATION OF INFLAMMATION IN ENDOMETRIOSIS .	26
THE EFFECT OF A DIGITAL SPEED READING PLATFORM ON THE READING SKILLS OF SECOND GRADE PRIMARY SCHOOL STUDENTS	27
THE EFFECTS OF FOENICULUM VULGARE AND FOENICULUM VULGARE-CONTAINING MIXTURES ON MYCELIA OF PLEUROTUS OSTREATUS AND ITS PESTS	28
THE IMPACT OF TRANSFORMATIONAL LEADERSHIP ON EXTRINSIC MOTIVATION.....	29
DEVELOPMENT OF A CONDUCTIVE CARBON FIBER FILAMENT FOR FDM PRINTING: APPLICATIONS IN SELF-SENSING ROBOTIC GRIPPERS.....	30
GENERATIVE AI AND HUMAN INTERACTION: A COMPREHENSIVE REVIEW OF AI'S IMPACT ON DECISION-MAKING	31
DESIGN, SYNTHESIS, CHARACTERIZATION AND THERMAL PROPERTIES OF NEW BORON-CONTAINING AZO DYE POLYMERS.....	32
EFFECT OF USE OF DIFFERENT LENGTHS OF BASALT FIBER ON CONCRETE STRENGTH ...	33
THE PROCESS OF DEVELOPING A COMPUTATIONAL THINKING SKILLS TEST FOR GIFTED ELEMENTARY SCHOOL STUDENTS	34
USER TRUST AND PERCEPTION IN THE USE OF GENERATIVE ARTIFICIAL INTELLIGENCE	35
THE EFFECT OF MONOSODIUM GLUTAMATE ON TSC1 GENE EXPRESSION IN FISSION YEAST	36
DETECTION OF HEAVY METAL INGREDIENTS OF CARDBOARD EGG TRAYS PRODUCED FROM WASTE PAPER.....	37

RAIL SYSTEMS BODEN GREASE.....	38
CREATION OF THE MECHANICAL MATERIAL CARD FOR A PA6 MATRIX CONTINUOUS CARBON FIBER REINFORCED COMPOSITE	39
METALLOGRAPHIC AND HARDNESS ANALYSIS OF 6000 SERIES ALUMINUM ALLOY WELDED USING DIFFERENT PARAMETERS.....	40
REDUCING COGNITIVE LOAD WITH GENERATIVE ARTIFICIAL INTELLIGENCE	41
REDUCE SHIP MAGNETIC SIGNATURE.....	42
A MODEL PROPOSAL FOR INVENTORY AND PRODUCTION PLANNING BASED ON THE REVERSE PLANNING APPROACH	43
REAL-TIME HUMAN ACTIVITY CLASSIFICATION USING MMWAVE RADAR AND DEEP LEARNING-BASED APPROACH	44
AN OVERVIEW OF ENZYMES IN COSMETICS: PAST, PRESENT AND FUTURE	45
EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE CORROSION RESISTANCE OF REINFORCED CONCRETE STEELS WITH ZINC ANODE ADDITION USING ACCELERATED CORROSION TESTING.....	46
BIAS AND DISCRIMINATION IN ARTIFICIAL INTELLIGENCE.....	47
MACHINE LEARNING-BASED THD CLASSIFICATION IN TOTEM POLE PFC CIRCUITS: AN INTERPRETABLE DESIGN STRATEGY USING DECISION TREES	48
INVESTIGATION OF THE BOOST CIRCUIT DESIGNED WITH THE LT1070 INTEGRATED ELEMENT ACCORDING TO THE EN 55014 STANDARD	49
NUMERICAL AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF SHAFT DESIGN FOR VIBRATION REDUCTION IN VERTICAL AXIS WIND TURBINE SYSTEMS.....	50
EXPERIMENTAL AND NUMERICAL INVESTIGATION THE EFFECTS OF A SHAFT WITH DIFFERENT GEOMETRY ON VIBRATION REDUCTION IN VERTICAL AXIS WIND TURBINE SYSTEM.....	51
RAPID DESIGN OF EARTHQUAKE-RESISTANT HOUSING USING VARIOUS TYPES OF SPECIAL CONCRETE.....	52
THE EFFECTS OF WEATHER DATA ON SHORT-TERM ELECTRICITY LOAD FORECASTING	53
ANALYSIS OF THE EFFECTS OF AUTOCLAVE, VACUUM INFUSION AND 3D METHODS ON PRODUCTION EFFICIENCY AND COST IN DEFENCE INDUSTRY	54
EFFECT OF CULTURE FILTRATE FROM ASPERGILLUS NIGER ON EMBRYOGENIC CALLUS FROM ALFALFA (MEDICAGO SATIVA L.).....	55
DEEP LEARNING MODELS FOR FORECASTING BIST RENEWABLE ENERGY STOCKS.....	56
COMPARISON OF DAMAGES AND MAINTENANCE COSTS OF ROAD SUPERSTRUCTURES	57
INVESTIGATION OF THE EFFECT OF DEEP SOIL MIXING (DSM) METHOD ON SOIL BEARING CAPACITY OF ANKARA-İZMİR HIGH SPEED TRAIN ROUTE	58
INVESTIGATION OF DRUG RELEASE EFFECTIVENESS OF AMPHIPHILIC COPOLYMERS.....	59
REDUCTION OF PIMA INDIANS DATASET USING ROUGH CLUSTERING THEORY AND EXTRACTION OF DECISION RULES	60
FINITE ELEMENT ANALYSIS OF COMBINED ACL RECONSTRUCTION AND LATERAL EXTRA- ARTICULAR TENODESIS: BIOMECHANICAL IMPACT ON KNEE JOINT STABILITY AND GRAFT PROTECTION.....	61
CONSTRUCTION, CHARACTERIZATION AND CYTOTOXIC ANALYSIS OF ROSMARINIC ACID (RA)-LOADED PLGA NANOPARTICLES FOR BREAST CANCER THERAPY.....	62

DEVELOPMENT OF 8079 ALUMINUM/POLYMER COMPOSITE STRUCTURE USING CO-EXTRUSION TECHNIQUE.....	63
DETERMINATION OF ENVIRONMENTAL PERFORMANCE OF ADVANCED TREATMENT ALTERNATIVES IN BIOLOGICAL WASTEWATER TREATMENT PLANTS BY LIFE CYCLE ANALYSIS	64
SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF PLGA NANOPARTICLES TARGETING GLUTAMINE METABOLISM IN TRIPLE-NEGATIVE BREAST CANCER	65
TOPOLOGY OPTIMISATION-BASED DESIGN IMPROVEMENT OF THE CONNECTING BRACKET USED IN THE DOUBLE FRONT AXLE STEERING SYSTEM OF AN 8X4 TRUCK.....	66
MASS OPTIMISATION OF THE PISTON ENGINE CONNECTING ROD USING THE DESIGN OF EXPERIMENTS METHOD	67
GENETIC STRUCTURING AND POPULATION DIVERGENCE OF PHOXINUS STRANDJAE IN THE SAPANCA BASIN (NW TÜRKİYE)	68
A NUMERICAL STUDY ON THE EFFECT OF SUSPENSION MOTION RATIO ON THE ROLL BEHAVIOR OF A SPECIAL-PURPOSE SINGLE-SEATER VEHICLE WITH INDEPENDENT SUSPENSION.....	69
DYNAMIC PRICING WITH FUZZY LOGIC IN AIRLINE PASSENGER TRANSPORTATION	70
ASSESSING THE IMPACT OF GEOMETRIC FACTORS ON LEAKAGE REACTANCE IN TRANSFORMERS	71
MODELING FINANCIAL MARKETS FROM A KINETIC THEORY PERSPECTIVE: VOLATILITY ANALYSIS WITH MAXWELL-BOLTZMANN DISTRIBUTION	72
EFFECTS OF E VITAMIN (A-TOCOPHEROL) ON HYPERGLYCEMIA-INDUCED CELLULAR DYSFUNCTION AND WOUND REPAIR: AN IN VITRO STUDY	73
PERFORMANCE EVALUATION OF A PV SYSTEM WITH POLY-CRYSTALLINE SI MODULE TECHNOLOGY ESTABLISHED IN THE CENTER OF BATMAN PROVINCE FOR THE PERIOD 2014-2024	74
DEVELOPMENT OF A COLLISION DETECTION AND HIGH VOLTAGE CUT-OFF SYSTEM THROUGH 6-AXIS IMU SENSOR INTEGRATION IN COMMERCIAL AND ELECTRIC VEHICLES	75
DETERMINATION OF SUITABLE MEDIUM FOR TISSUE CULTURE STUDIES ON CENTAUREA KILAEA.....	76
PRODUCTION AND CHARACTERIZATION OF POLY(VINYL ALCOHOL) COMPOSITE NANOFIBERS WITH TETRA-N-BUTYL AMMONIUM HYDROGEN SULFATE AND TETRA PROPYL AMMONIUM CHLORIDE HYBRID ADDITIVES	77
PRODUCTION AND CHARACTERIZATION OF PCL/COLLAGEN NANOFIBERS CONTAINING PLANT OILS BY ELECTROSPINNING	79
INVESTIGATION OF THE PERFORMANCE OF BORON NITRATE-DOPED POLYSULFONE-BASED COMPOSITE MEMBRANES IN DIRECT BOROHYDRIDE FUEL CELLS	80
INVESTIGATION OF THE EFFECT OF BORON NITRATE-DOPED PEEK MEMBRANE ON DIRECT BOROHYDRIDE FUEL CELL PERFORMANCE	82
MACROPOROUS FUNCTIONAL 3D CARBOXYMETHYL CELLULOSE COMPOSITE CRYOGELS	84
BIOREMEDIATION OF CONTAMINATED SOILS: GREEN TECHNOLOGIES FOR SUSTAINABILITY	85
DEVELOPMENT OF A TEST BENCH FOR ANALYZING FORCE TRANSFER FROM ATHLETE TO BLADE.....	88

A NOVEL BODIPY-MODIFIED CALIXARENE AS A SELECTIVE FLUORESCENT SENSOR FOR TRANSITION AND HEAVY METAL IONS	89
FULL TEXT PAPERS.....	91
DC04EK VE DC04ED KALİTE SACLARINDA EMAYE KAPLAMA İŞLEMLERİ, EMAYE KALİTESİNİN VE PERFORMANSININ İYİLEŞTİRİLMESİ.....	92
LAZER KESİM MAKİNELERİNDE GÖRÜNTÜ İŞLEME DESTEKLİ BULANIK MANTIK YÖNTEMİ İLE SERVO MOTOR KAZANÇLARININ AYARLANMASI.....	98
LAZER IŞIN KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLEN İNCE KESİTLİ NİKEL ALAŞIMININ KARAKTERİZASYONU.....	106
ÜRETKEN YAPAY ZEKÂ DESTEKLİ KULLANICI ARAYÜZÜ TASARIMI	112
GERÇEK ZAMANLI HAREKET ALGILAMA VE ALARM SİSTEMİ TASARLANMASI.....	121
PATENT DATA ANALYSIS BASED ON DEFENSE TECHNOLOGIES	130
ENDOMETRİOZİSDE ENFLAMASYONUN HÜCRESEL VE MOLEKÜLER DÜZEYDE İNCELENMESİ	145
DIŞSAL MOTİVASYONDA DÖNÜŞÜMSSEL LİDERLİK ETKİSİ	151
YENİ BOR İÇEREN AZO BOYARMADDE POLİMERLERİNİN TASARIMI, SENTEZİ, KARAKTERİZASYONU VE TERMAL ÖZELLİKLERİ.....	159
FARKLI UZUNLUKTAKİ BAZALT ELYAF KULLANIMININ BETON DAYANIMINA ETKİSİ.....	168
ÜRETKEN YAPAY ZEKA KULLANIMINDA KULLANICI GÜVENİ VE ALGISI	176
ATIK KÂĞITTAN ÜRETİLEN KARTON YUMURTA VİYOLLERİNİN AĞIR METAL İÇERİKLERİNİN BELİRLENMESİ	184
PA6 MATRİSLİ, SÜREKLİ KARBON ELYAFLI MALZEMENİN MEKANİK MALZEME KARTININ OLUŞTURULMASI	191
ÜRETKEN YAPAY ZEKA İLE BİLİŞSEL YÜKÜN AZALTIILMASI	202
GEMİ MANYETİK İZİNİ AZALTMA YÖNTEMLERİ	207
TERSİNE PLANLAMA YAKLAŞIMIYLA STOK VE ÜRETİM PLANLAMASI İÇİN MODEL ÖNERİSİ.....	216
YAPAY ZEKADA ÖNYARGI VE AYRIMCILIK	224
LT1070 ENTEGRE ELEMANI İLE TASARLANAN BOOST DEVRESİNİN EN 55014 STANDARDINA GÖRE İNCELENMESİ.....	231
DÜŞEY EKSENİLİ RÜZGAR TÜRBİNİ SİSTEMLERİNDE TİTREŞİM AZALTIMINA YÖNELİK MİL TASARIMININ SAYISAL VE DENEYSEL İNCELEMESİ	239
EXPERIMENTAL AND NUMERICAL INVESTIGATION THE EFFECTS OF A SHAFT WITH DIFFERENT GEOMETRY ON VIBRATION REDUCTION IN VERTICAL AXIS WIND TURBINE SYSTEM	251
FARKLI ÖZEL BETON TİPLERİ İLE HIZLI DEPREM KONUT TASARIMI	265
HAVA DURUMU VERİLERİNİN KISA DÖNEM ELEKTRİK YÜK TAHMİNİ ÜZERİNE ETKİLERİ	274
ANALYSIS OF THE EFFECTS OF AUTOCLAVE, VACUUM INFUSION AND 3D METHODS ON PRODUCTION EFFICIENCY AND COST IN DEFENCE INDUSTRY	282
ASPERGİLLUS NİGER'DEN ELDE EDİLEN KÜLTÜR FİLTRATININ YONCANIN (MEDİCAGO SATİVA L.) EMBRİYOJENİK KALLUSUNUN ÜZERİNE ETKİSİ	290

KARAYOLU ÜST YAPILARINDA OLUŞAN HASARLAR VE BAKIM MALİYETLERİNİN KIYASLANMASI	295
ANKARA-İZMİR HIZLI TREN GÜZERGAHINDA DERİN ZEMİN KARIŞTIRMA (DSM) YÖNTEMİNİN ZEMİN TAŞIMA KAPASİTESİNE ETKİSİNİN	302
AMFİFİLİK KOPOLİMERLERİN İLAÇ SALIM ETKİNLİĞİNİN İNCELENMESİ	310
PİMA İNDİANS VERİSETİNİN KABA KÜMELEME TEORİSİ KULLANILARAK İNDİRGENMESİ VE KARAR KURALLARININ ÇIKARTILMASI	317
HAVA YOLU YOLCU TAŞIMACILIĞINDA BULANIK MANTIK İLE DİNAMİK FİYATLANDIRMA	326
TRANSFORMATÖRLERDE GEOMETRİK FAKTÖRLERİN KAÇAK REAKTANSA ETKİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	338
TİCARİ VE ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA 6 EKSENLİ IMU SENSÖR ENTEGRASYONU İLE KAZA ALGILAMA VE YÜKSEK VOLTAJ KESME SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ	346
DEVELOPMENT OF A TEST BENCH FOR ANALYZING FORCE TRANSFER FROM ATHLETE TO BLADE.....	355

ABSTRACTS / POSTERS

The abstract fields of the papers that have met all the conditions of the IMASCON 2025 SPRING congress as abstract, poster and full text will be shown on the following pages. In addition, the full texts of the papers that have been applied as full text are available on the following pages.

MORPHOLOGICAL STRUCTURE OF TITANIA NANOPARTICLES (TIO₂-NPS) DEPOSITED BY THERMAL EVAPORATION AND ELECTRICAL PARAMETERS OF THE INTERLAYERED AL/TIO₂-NPS/P-SI CONTACTS

Assist. Prof. Dr. REŞİT ÖZMENTEŞ

Bitlis Eren Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Myo, Tıbbi Hizmetler ve Teknikler
ozmentes@gmail.com

Abstract

Al/p-type silicon contacts with a titania nanoparticle interlayer (Al/TiO₂ -NPs/p-Si) have been fabricated by thermal evaporation of titania pellets. The Titania interlayer deposited on crystalline silicon was also deposited on a glass substrate and scanning electron microscope (SEM) images were taken. The SEM images showed independent deposition of nanoparticles on the substrate from the evaporated TiO₂ pellet. The current-voltage measurements of the contacts were carried out at room temperature and in the dark ambient and their electrical parameters were studied. Current-voltage (I-V) measurements showed that the contacts had rectifier characteristics. The main diode parameters such as the ideality factor (n), the barrier height (BH) and the series resistance (Rs) of the samples were extracted based on the thermionic emission (TE) I-V as well as the Cheung and Norde function methods. The min and max values of n, BH and Rs were found to be 1.584 & 1.739, 0.861 & 0.917 eV and 1.36 & 25.8 kΩ respectively. It was found that the n, BH values obtained from both the TE and Cheung methods are compatible, but the series resistance values obtained from the Norde function are relatively large. As a result of the calculated parameter values, the samples (S1 & S2) present rectify properties and the first (S1) showed relatively more ideal diode behaviour than the second (S2) sample.

Keywords: Thermal evaporation, Al/TiO₂-NP/p-Si, SEM, Ideality factor, Barrier height

SIMULATION ASSISTED PRODUCTION OF FASTENER WITH HIGH HEAD DIAMETER AND SW4 END FORM IN COLD FORGING PROCESS

Engineer Yener YILMAZ

Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Makine Mühendisliği
yener.yilmaz@bolt.com.tr

Engineer OLCAY SAY

Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği
olcay.say@bolt.com.tr

Engineer SEMİH ÖZTÜRK

Kocaeli Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği
Semih.Ozturk@Bolt.Com.Tr

SELÇUK MEMİŞ

Uludağ Üniversitesi, Karacabey Meslek Yüksek Okulu, Otomotiv
selcuk.memis@bolt.com.tr

Abstract

Cold forging process is a widely used production method in fastener manufacturing due to its surface quality, ability to provide precise dimensional tolerances and advantageous features for mass production. The extrusion technique is critical importance in cold forging. If more than one extrusion is used, all parameters (extrusion rates, die material and mechanical properties, die geometrical dimensions, raw material mechanical and metallurgical properties etc.) must be taken into account and the part forming must be calculated on a fixed volume basis. In this study, the production of a special fastener with a high ratio of head-diameter to body-diameter (M6 thread form region) (Head-diameter:Ø23/body-diameter:Ø5.25), SW4 geometry at the end was investigated. In the process design of the product, due to the high ratio of head and body diameter as a result of feasibility analyses, it was aimed to obtain the desired forms by using two extrusion and cold heading techniques in total by applying more than one section contraction process. Cold forging design envisaged as five operations, the design was created to have a cross-sectional contraction of 69.9% second operation with a length of approximately 5mm, a cross-sectional contraction of 61.7% third operation with a length of approximately 25 mm, a head-inflation process fourth operation. Fifth operation with a head-diameter of Ø23mm and on the cylindrical-section (Ø4.37±0.02mm) in the end-region, the design was created to have a SW4 form. Predicted operation-die design, simulation studies were carried out for the cold forging process by using the 2D-3D designs of the part and dies as input in the Simufact.forming software for the predetermination of the undesired forms that may arise in the shaping of the high head-diameter and the end-region. Analysis results, it was seen that the minimum principal stresses occurring on the die at the last station where the head and tip region, which are critical in the final part structure, occur, are 926 MPa (maximum 3,900 MPa) in the head-region and 1,106 MPa (maximum 3,900 MPa) in the tip-region, respectively. Result of the prototype production carried out, the technical drawing-design-simulation analyses-the size comparison of the prototype product showed 98% similarity.

Keywords: Cold Forging, Fasteners, Prototype Production

A NEW APPROACH TO UAV TEST PILOT TRAINING

Ahmet Emre Yılmaz

Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Savunma Teknolojileri

ahmetemreyilmaz@Gmail.Com

Prof. Dr. Hüseyin Canbolat

Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği

huseyin.canbolat@aybu.edu.tr

Abstract

With the rapid advancement of technology, unmanned aerial vehicles (UAVs) have become a prominent component of modern defense systems. The growing implementation of UAV projects has led to the development of a large ecosystem involving engineers, managers, and technical personnel, supported by substantial resource allocation. However, investments aimed at evaluating the outputs of this ecosystem—specifically through the training and qualification of UAV test pilots—remain insufficient. Test flights of large-scale UAVs, which share key characteristics with manned aircraft in terms of airspace integration, design, aerodynamics, crew requirements, maintenance, logistics, and flight test procedures, must be conducted by professionally trained test pilots. Current UAV test pilot training initiatives are typically short-term, introductory programs that provide limited theoretical background and aim primarily at raising awareness among newcomers to the field. This highlights the need to define pilot competencies and to standardize training curricula tailored to UAV test missions. This study explores the applicability of the Condition 2 test pilot model for UAV test pilot training. The methodology includes a literature review on UAV systems and subsystems, analysis of flight test management documentation, review of international regulations governing flight tests, and evaluation of the content of existing test pilot courses. A comparative analysis was conducted on training programs provided by test pilot schools worldwide. The findings indicate that the Condition 2 model is well-suited for UAV test pilot training. It is recommended that a new training framework be developed in collaboration with industry stakeholders and aviation experts, and subsequently endorsed by international regulatory authorities. Such an initiative would help ensure standardization in flight test procedures, reinforce safety, and enhance the professional qualifications of UAV test pilots on a global scale.

Keywords: UAV, UAV Test Pilot Training, Condition 2 Test Pilot Training, Flight Test Process

ENAMEL COATING PROCESSES ON DC04EK AND DC04ED QUALITY SHEETS, IMPROVEMENT OF ENAMEL QUALITY AND PERFORMANCE

ŞEYDA EFE

Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği
seyda444441@gmail.com

Assoc. Prof. Dr. MELTEM YILDIZ

Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği
myildiz@kocaeli.edu.tr

Abstract

Today, there are enameled cast steel aluminum structures that have a wide use in many areas from white goods to industry, art, and construction sector. Enamel is preferred because it is visually beautiful, durable, and long-lasting according to its area of use. For this purpose, every stage from the enamel used to the sheet metal used as raw material must be tested and its quality must be ensured. For this purpose, it is aimed to test the performance of DC04EK and DC04ED quality sheets that can be used directly as enamel steel with different application methods and application forms. For this purpose, two different DC04EK and DC04ED quality sheets with a thickness of 0.50 mm and 0.70 mm were used, and single- and double-layer enamel applications were made on these sheets by dipping and spraying methods. The adhesion performance and surface suitability of the applied sheets were tested. In all applications, no surface defects such as fish scale, carbon boiling, or blister were observed, and it was determined that the best adhesion was achieved in single- and double-layer applications of 0.50 mm DC04EK quality sheet metal by dipping and spraying.

Keywords: Enamel, Steel, Dipping Methods, Spraying Methods, Adhesion

EFFECT OF ALTERNATING CURRENT INTENSITY ON HYDRATION TEMPERATURE IN NANO SILICA MODIFIED FRESH MORTARS

EMRE TUNÇÖZ

Afyon Kocatepe Üniversitesi, FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ, NANO BİLİM VE NANO TEKNOLOJİ
tuncozemre@hotmail.com

Assoc. Prof. Dr. İSMAİL HOCAOĞLU

Afyon Kocatepe Üniversitesi, BOLVADİN MYO, İNŞAAT
ihocaoglu@aku.edu.tr

Abstract

Developments in nanotechnology also have positive effects on the production processes of cementitious building materials. Nowadays, thanks to the use of nanomaterials in cementitious systems by scientists, new generation building materials with low porosity and high mechanical strength properties can be developed. In cold weather conditions, it is critical to take measures to increase the hydration temperature in cementitious systems. Previous research has concluded that nano-silica (NS) increases the hydration temperature and shortens the setting time in cementitious systems. However, there are limited studies in the literature on accelerating the hydration reactions in NS-modified fresh mortars by applying alternating current (AC). For this purpose, the study aimed to investigate the effects of NS ratio and AC intensity on hydration temperature in NS-modified mortars. Within the scope of the research, 0V, 30V, 40V, and 60V AC were applied to fresh mortars with 300 dosage, 0% and 1% NS additives and dimensions of 4cm x 4cm x 16cm. It was observed that by applying 30V and 40V AC to mortars without NS Additives, the hydration temperatures increased by approximately 4.12 °C and 10.69 °C compared to their initial states. It was seen that the internal temperature increased by approximately 43.63 °C as a result of applying 60V AC to the mortar to which 1% NS was added instead of cement. In line with this result, it was evaluated that the setting time could be shortened by both adding NS and applying AC in cement-based materials. Acknowledgement: This study is supported by Afyon Kocatepe University Scientific Research Projects Coordination Unit. Project Number: 24.FEN.BİL.27.

Keywords: Nano silica, Alternating current, Hydration temperature, Rapid cure

SUSTAINABILITY PERCEPTIONS OF KOCAELI UNIVERSITY STUDENTS

OĞUZ SARITAŞ

Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği
oguzdoruksaritas@gmail.com

Abstract

Increasing population with industrialization, fossil fuel use and concretization as a result of production-consumption activities, and the reduction and destruction of natural resources have led to problems that are difficult to return (Gedikkaya-Bal et al., 2022). The concept of sustainability was born with the quest to draw attention to these problems and find solutions. Sustainability refers to ensuring the continuity of society and the ecosystem by using social, economic and environmental elements interactively and transferring natural resources, social opportunities and balanced production of goods and services to future generations (Atagan-Çetin, Doğan, & Çetin, 2019). Universities have a great impact on the adoption and implementation of sustainability in society for sustainable development with their campuses, education and research activities, staff, students and graduates (Acuner et al., 2023). Therefore, within the scope of this study, the sustainability perceptions of the students studying at Kocaeli University, which has the highest number of students in Kocaeli, known as an industrial city, are examined. This research will be conducted within the framework of a descriptive research design in quantitative research type. The sample of this research will be the students of Kocaeli University selected by simple random sampling method. The data will be collected through the “Campus Sustainability Questionnaire” consisting of 13 items developed by Emanuel and Adams (2010) and translated into Turkish by the researcher to measure the sustainability perceptions of the participants. Data will be collected from students face-to-face. The collected data will be analyzed using the SPSS program. Descriptive statistics (mean, standard deviation, frequency and percentage distribution) will be used to reveal students' perceptions of sustainability. Statistical analyses will be applied to determine whether the differences in perceptions between university students in terms of variables such as gender, on-campus/off-campus accommodation are statistically significant. By using the data obtained from Kocaeli University students, the sustainability perceptions of the university's students will be revealed and the impact of the university's sustainability activities on students' sustainability perceptions will be tried to be revealed. In this context, this research aims to guide, draw attention, raise awareness and provide motivation for other universities.

Keywords: Sustainability, University Students, Sustainability Perceptions

ADJUSTMENT OF SERVO MOTOR GAINS IN LASER CUTTING MACHINES USING IMAGE PROCESSING-SUPPORTED FUZZY LOGIC METHOD

İHSAN MAHMUTOĞLU

Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü/, Mekatronik Mühendisliği
iihsan.m@gmail.com

Prof. Dr. Gökhan Gökmen

Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği
gokhang@marmara.edu.tr

Abstract

Laser cutting machines are among the high-speed, high-precision CNC cutting machines widely utilized in manufacturing processes. Consequently, the production of laser cutting machines is continuously increasing. During the manufacturing stage of these machines, the optimal adjustment of servo system gain parameters and quality control processes require considerable time. Improper tuning of gain parameters can adversely affect cutting quality. Manufacturers provide certain presets, guidelines, and automatic adjustment methods for servo gain tuning. However, since these conventional tuning methods mainly focus on single-axis systems, they are inadequate for multi-axis machines operating synchronously. Therefore, the tuning process often relies heavily on the experience of the operator, involving trial and error methods, and may thus become very time-consuming. Additionally, using measurement tools such as calipers during tuning introduces the potential for human error and further prolongs the adjustment period. This study introduces an innovative model that leverages image processing techniques combined with fuzzy logic decision-making to achieve faster and more precise determination of servo motor gain parameters for a two-axis synchronous Cartesian system. The proposed method is based on analyzing test parts cut by a laser cutting machine using image processing techniques and interpreting the results through fuzzy logic. By measuring deviations between the actual shape of circular test parts and an ideal circle, discrepancies between synchronously operating servo axes are identified. A developed fuzzy logic algorithm then evaluates these deviations and calculates optimal servo motor gain parameters for each axis. The process can be iteratively repeated until the desired cutting quality is attained. In the experimental section of this study, preliminary tests were conducted using draft images, assessing the accuracy of the image-processing-supported model. Consequently, this research demonstrates that the developed method can determine servo gain parameters for a two-axis Cartesian system faster and more reliably than traditional methods, thereby reducing commissioning time and enhancing quality and productivity of laser cutting machines.

Keywords: CNC Cutting Machines, Servo Gain Parameters, Image Processing, Fuzzy Logic

CHARACTERIZATION OF THIN WALLED NICKEL ALLOY JOINED BY LASER BEAM WELDING

HASAN ATİK

Kocaeli Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
hasanatik190355@gmail.com

Assoc. Prof. Dr. MUSTAFA TÜMER

Kocaeli Üniversitesi, Uzunçiftlik Nuh Çimento MYO, Kaynak Teknolojisi
mustafa.tumer@kocaeli.edu.tr

Abstract

Inconel 625 is a nickel-based superalloy that is widely used in applications requiring high temperature service conditions, along with high corrosion resistance. Its microstructure, composed of an austenitic phase, is strengthened by alloying elements such as Cr and Mo, which provide solid solution strengthening. Due to its superior properties, it is commonly used in the aerospace industry. The ability to maintain mechanical properties at high temperatures enables its use in critical components exposed to high heat, such as aircraft engines and exhaust systems. In this study, Inconel 625 thin-walled sheets were joined using the Laser Beam Welding (LBW) method, both with and without the addition of filler metal. The macro and microstructural evaluations of the obtained joints were assessed along with the effects on their mechanical properties. Tensile tests revealed that although both joints exhibited similar yield strengths, samples welded with ERNiCrMo-3 filler metal showed a significant increase in tensile strength. Microstructural analysis showed that during solidification of the weld metal, interdendritic Nb segregation occurred, leading to the formation of Nb-rich, brittle intermetallic Laves phases, particularly more evident in the autogenous weld, where a fine grain structure was observed. This led to a reduction in the strength of the autogenous weld joint.

Keywords: Laser Beam Welding, Microstructure, Strength, Intermetallic phase

GENERATIVE AI-SUPPORTED USER INTERFACE DESIGN

ATAMER BAŞMANAV

Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilişim Sistemleri Mühendisliği
bsmnvatamer@gmail.com

Abstract

This study examines the integration of Generative Artificial Intelligence (GenAI) technologies into user interface (UI) design processes from a multidimensional perspective. Based on a literature review, it demonstrates that GenAI tools not only automate content creation but also have significant potential in strategic decision-making, problem-solving, and enhancing user experience. GenAI's capabilities in rapid prototyping, generating user insights, and supporting iterative design processes offer notable advantages over traditional design methods. However, limitations such as lack of contextual awareness, data security risks, ethical concerns, and the potential for creativity to become superficial pose challenges to a human-centered design approach. The study emphasizes the need for GenAI systems to become more explainable, reliable, and context-sensitive, and highlights the importance of developing comprehensive AI literacy programs for designers. Ultimately, the study argues for the development of ethical and user-centered design processes that balance human creativity with the strengths of artificial intelligence.

Keywords: Generative AI, user interface design, human-centered design, GenAI, UX, human-AI collaboration

DESIGN OF A REAL-TIME MOTION DETECTION AND ALARM SYSTEM

NOOR ALİ HUSSEİN

Kocaeli Üniversitesi, Fen bilimleri enstitüsü, Bilişim sistemleri mühendisliği
235172011@kocaeli.edu.tr

Prof. Dr. Hikmet Hakan Gürel

Kocaeli Üniversitesi, Bilişim sistemleri, Bilişim Sistemleri Mühendisliği
hhakan.gurel@kocaeli.edu.tr

Abstract

This work explores the use of real-time motion detection and alarm systems and the identification and tracking of changes in the positions of objects or people in video frames. Motion detection is essential in many fields, including video analysis, traffic monitoring, and security systems. To identify human movement and produce audible alarms during detection, a graphical user interface (GUI) was developed by utilizing MATLAB's computer vision and image processing capabilities. Especially in static situations, the chosen technique mostly uses foreground identification and background subtraction. As a result, the ForegroundDetector in MATLAB's Computer Vision Toolbox fulfills this function. The system also has an audio alarm feature that sounds when motion is detected and ceases after five seconds of no motion. The importance of basic ideas like frame difference, optical flow, change detection, and edge detection in motion detection techniques is highlighted. Applications for this technology include traffic monitoring, human activity detection, security and surveillance, and more. Furthermore, motion detection is essential for contemporary devices like cameras and sensors because only when motion is detected do they start recording and sounding alerts. This study shows how crucial motion detection systems are to improving operational effectiveness and safety in a variety of fields.

Keywords: Real-Time Motion Detection, Alarm, Image Processing, Security Systems, MATLAB, GUI (Graphical User Interface)

PATENT DATA ANALYSIS BASED ON DEFENSE TECHNOLOGIES

GÖKHAN KALKAN

Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Savunma Teknolojileri (Yüksek Lisans)
gkhnklkn@gmail.com

Prof. Dr. HÜSEYİN CANBOLAT

Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği
huseyin.canbolat@aybu.edu.tr

Abstract

Patents contain very valuable and significant information about any field of technology. As one of the most critical outputs of R&D, the patent system has been a reliable indicator for developing technologies. In recent years, it is observed that developments in defense technologies have accelerated and the importance of military systems and methods has increased in the industrial property strategies of countries. In this study, defense technologies are evaluated from a patent perspective, their development over the years is examined, and global patent applications in defense technologies are analyzed according to countries and technology classes. A database called Global Patent Index (GPI), which covers the patent applications of all countries, was used for the study. In order to identify all applications related to defense technologies in this database, the most accurate search query was created and 581392 patent applications were found at the end of this query. The results were first analyzed according to the number of applications filed between 2014 and 2023, then according to the patent office where the application was filed, after that according to the countries of the applicants, followed by the international patent classification (IPC), and finally according to their technological association status.

Keywords: Patent, data analysis, defense technologies, technological association

FACTORS OTHER THAN COURSE CONTENT SUPPORTING PRESERVICE TEACHERS' TPACK DEVELOPMENT

Çiğdem Yazıcı

Kocaeli Üniversitesi, Eğitim Fakültesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Eğitim Teknolojisi
cgdmyzci@gmail.com

Assoc. Prof. Dr. Doç. Dr. Levent Durdu

Kocaeli Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Bilgisayar ve Öğretim Teknolojileri Eğitimi
levent.durdu@kocaeli.edu.tr

Abstract

This study aims to identify the factors that influence the development of pre-service teachers' Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK). Although national (e.g., Ministry of National Education - MoNE) and international organizations (e.g., ISTE, UNESCO) have established standards regarding the use of technology in education for various stakeholders (students, teachers, administrators, etc.), these standards primarily describe target outcomes and do not offer specific guidance on the developmental process. On the other hand, TPACK has been proposed as a model for the integration of technology into teaching and learning processes, blending technological, pedagogical, and content knowledge. Despite the growing body of research on TPACK over the past two decades, it has been observed that most studies have primarily focused on pre-service teachers as the central subject, without adequately addressing the process of their professional preparation. Moreover, the limited number of studies investigating factors beyond course content that influence pre-service teachers' acquisition of TPACK competencies represents a significant gap in the literature. In this regard, the current study seeks to answer the research question: "What are the non-curricular factors that support the development of pre-service teachers' TPACK?" Adopting a qualitative research design, the study conducted semi-structured interviews with a total of 13 teacher educators, including five TPACK experts, and educators from four subject areas: two from elementary mathematics education, two from science education, two from English language education, and two from primary education. The interviews were conducted online and lasted approximately 30 minutes each. The data were analyzed using content analysis, through which initial codes and subsequently themes were developed. The findings were organized under four main themes: role modeling, pedagogical beliefs, encouragement, and an orientation toward innovation. According to the results of the study, teacher educators influence the development of pre-service teachers' TPACK not only through course content but also by serving as role models for effective technology integration, shaping pedagogical beliefs, encouraging the use of technology, and fostering an openness to innovation.

Keywords: TPACK, teacher training, role model, pedagogical beliefs, encouragement, innovation

CELLULAR AND MOLECULAR INVESTIGATION OF INFLAMMATION IN ENDOMETRIOSIS

Assoc. Prof. Dr. BANU Aydın

Marmara Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Biyofizik
banu.aydin@gmail.com

Tuğba Çevik

Marmara Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Biyofizik
tugbacevik@yandex.com.tr

Gizem Ayermolali

Marmara Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Biyofizik
gizemayermolali@gmail.com

PhD. Zehra Kanlı

Marmara Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Biyofizik
zehraknli@gmail.com

Abstract

Objective: Endometriosis is an estrogen-dependent benign disease, characterized by chronic inflammation, and may be associated with endometrial and ovarian cancers. In this study, the effects of inflammatory processes on carcinogenesis, signal transduction pathways, and cellular responses were investigated using endometrial cancer cell lines. **Method:** Endometrial cell lines were treated with epidermal growth factor (EGF) receptor agonists and antagonists along with various inflammatory factors. Cell proliferation was assessed using the MTT method. Cell counts were performed under each condition and statistically evaluated. **Findings:** According to cell count results, EGF agonist application significantly increased cell proliferation, while antagonist application suppressed this effect. Application of inflammatory factors alone or together with EGF caused synergistic increases in cell proliferation. **Conclusion:** The findings obtained indicate that inflammation may contribute to the cancerization process via cell proliferation and signal transduction mechanisms in endometriosis and related gynecological cancers. Targeting inflammatory factors and EGF pathways holds potential for treatment strategies.

Keywords: Endometriosis, inflammation, endometrial cancer, EGF, cell proliferation

THE EFFECT OF A DIGITAL SPEED READING PLATFORM ON THE READING SKILLS OF SECOND GRADE PRIMARY SCHOOL STUDENTS

BEHİYE VAROL

Amasya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitimci, Bilgisayar ve Öğretim Teknolojileri
Eğitimci
behiyevorol.bv@gmail.com

Assoc. Prof. Dr. VOLKAN KUKUL

Amasya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitimci, Bilgisayar ve Öğretim Teknolojileri
Eğitimci
kukulvolkan@gmail.com

Abstract

The aim of this study is to examine the effect of a digital speed reading platform on the reading skills of second grade primary school students. A quasi-experimental design, one of the quantitative research methods, was used in the study. The research was conducted during the 2024–2025 academic year with a total of 52 students, 26 in the experimental group and 26 in the control group, selected through convenience sampling. To investigate the effect of the digital speed reading platform on students' reading skills, data such as words read per minute, word recognition progress, comprehension rate, and number of reading errors were utilized. The findings of the study indicate that the digital speed reading platform has a greater impact on the reading skills of second grade students compared to traditional methods. Additionally, it has the potential to be applied across different grade levels and contribute positively to students' academic achievement.

Keywords: Digital support, speed reading, reading skills

THE EFFECTS OF FOENICULUM VULGARE AND FOENICULUM VULGARE- CONTAINING MIXTURES ON MYCELIA OF PLEUROTUS OSTREATUS AND ITS PESTS

Duygu Keser

Özel Enka Teknik Okulları (Lise), Fen, Biyoloji
dukeser@gmail.com

Zeynep Emiral

Özel Enka Teknik Okulları (Lise), Mesleki ve Teknik Lise, Kimya
zeynepemiral41@gmail.com

Zeynep Kıvanç

Özel Enka Teknik Okulları (Lise), Mesleki ve Teknik Lise, Kimya
zzeynepkivanc@gmail.com

Abstract

In this study we aimed to enhance the development of mycelia of *Pleurotus ostreatus* and to control the pests of this fungus. The water extracts of plants (*Foeniculum vulgare* (seed), *Malva sylvestris* (flower) and *Zingiber officinale* (rhizome)) were used. The *F. vulgare* and *F. vulgare*-containing groups increased the diameter of *P. ostreatus* mycelia. It was observed that the *F. vulgare* extract had a more effective effect than *Z. officinale* and a lower effect than *M. sylvestris* extract on the mycelia diameter. The *F. vulgare* and *F. vulgare*-containing mixture groups had a positive effect on mycelial growth period, that effect was the same with *Z. officinale* but lower than *M. sylvestris*. In all experimental groups the mycelia were healthy and densely covered the entire petri dish. The scale rating of mycelial density was 5. According to the results of mycelial growth areas experiments *M. sylvestris* had the highest area, followed by *F. vulgare*, *F. vulgare*+*M. sylvestris*, *F. vulgare*+*M. sylvestris*+*Z. officinale*, *M. sylvestris*+*Z. officinale*, *F. vulgare*+*Z. officinale* and *Z. officinale*. The all *F. vulgare* extract doses were effective on *Pseudomonas tolaasii* and the effect of that extract was higher than that of *M. sylvestris* or *Z. officinale*. The effect of *F. vulgare*+ *Z. officinale* group on *P. tolaasii* was remarkable. The suppressive effect of *F. vulgare*, *F. vulgare*+ *Z. officinale* ve *M. sylvestris*+*Z. officinale* groups on *Trichoderma aggressivum* was remarkable too. In the interaction of *P. ostreatus* and *T. aggressivum*, the lowest inhibition percentage was observed in the *F. vulgare* extract, when the highest inhibition percentage was observed in the *F. vulgare*+ *M. sylvestris* +*Z. officinale* mixture. We believe that this study will support cultivation of *P. ostreatus* and control of pests of this mushroom.

Keywords: *P. ostreatus*, *F. vulgare*, *P. tolaasii*, *T. aggressivum*

THE IMPACT OF TRANSFORMATIONAL LEADERSHIP ON EXTRINSIC MOTIVATION

Rabia Çelenk

İstanbul Teknik Üniversitesi, İşletme Fakültesi/Lisansüstü, Endüstri Mühendisliği
rabiacelenkk@gmail.com

Assoc. Prof. Dr. Cemil Ceylan

İstanbul Teknik Üniversitesi, İşletme Fakültesi/ İşletme, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İşletme, Endüstri
Mühendisliği Bölümü
ceylan@itu.edu.tr

Abstract

Today, it has become very difficult for organizations to survive and maintain their continuity in a competitive environment. While agile companies achieve this success, companies that intend to move forward with a traditional and classical management approach tend to fail in this race. Leadership and employee motivation are some of the important parameters for the survival of organizations. This study examines how and in which direction transformational leadership affects the extrinsic motivation of employees. Data were collected through an online survey method. 212 people participated in the study and 204 of the responses were found suitable for analysis. The first part of the survey questions consisted of demographic questions, while the second part consisted of 25 questions on transformational leadership and 8 questions on extrinsic motivation. The research model was applied to white-collar employees over the age of 18. The relationships between the model variables were solved with IBM SPSS 27 package program and as a result of the research, it was concluded that the inspirational motivation dimension and individual support dimension of transformational leadership increase the extrinsic motivation of employees.

Keywords: Regression, Transformational Leadership, Extrinsic Motivation

DEVELOPMENT OF A CONDUCTIVE CARBON FIBER FILAMENT FOR FDM PRINTING: APPLICATIONS IN SELF-SENSING ROBOTIC GRIPPERS

Assist. Prof. Dr. Çağatay Taşdemirci

Anglia Ruskin University, Faculty of Health, Medicine and Social Care, School of Medicine
tasdemircicagatay@gmail.com

Assoc. Prof. Dr. Talip Calik

Kocaeli Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği
talip.celik@kocaeli.edu.tr

Prof. Dr. Arif Ozkan

Kocaeli Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği
arif.ozkan@kocaeli.edu.tr

Prof. Dr. Barbara Krystyna PIERSCIONEK

Anglia Ruskin University, Faculty of Health, Medicine and Social Care, School of Medicine
barbara.pierscione@aru.ac.uk

Abstract

This study investigates the development and characterization of a novel carbon fiber-reinforced filament designed for fused deposition modeling (FDM) 3D printing, with a focus on its electrical conductivity and piezoresistive properties. By incorporating carbon fibers into a thermoplastic matrix, the material exhibits intrinsic electrical conductivity, which is modulated by mechanical deformation. A prototype microsurgical gripper head was fabricated using this filament, demonstrating not only structural integrity but also the capability for real-time pressure sensing without the integration of conventional sensors. Experimental evaluations revealed a reproducible correlation between applied mechanical pressure and variations in electrical resistance, indicating that the material's conductivity is sensitive to external loads. This dual functionality—combining mechanical performance with inherent sensing ability—positions carbon fiber-supported filaments as promising candidates for next-generation smart robotic tools, particularly in microsurgical and biomedical engineering applications. The findings suggest significant potential for embedding sensing capabilities directly into 3D-printed structures, simplifying device architecture and enhancing functionality.

Keywords: Carbon fiber-reinforced filament, 3D printing, Conductive polymers, Pressure sensing, Biomedical engineering, Self-sensing structures

GENERATIVE AI AND HUMAN INTERACTION: A COMPREHENSIVE REVIEW OF AI'S IMPACT ON DECISION-MAKING

HOMAYOUN YADEGARİ

Sakarya Üniversitesi, Sakarya Üniversitesi Bilgisayar ve Bilişim Bilimleri Fakültesi, Bilgisayar
Mühendisliği

homayoun.yadegari1@ogr.sakarya.edu.tr

Abstract

Generative Artificial Intelligence (GAI) has emerged as a transformative force, offering new ways to ideate, design, and make decisions. As humans increasingly collaborate with AI systems in various domains—education, healthcare, business strategy, and creative design—the question of trust becomes central. While GAI systems are lauded for their speed and versatility, they are also prone to hallucinations, biases, and a lack of contextual awareness. These limitations create a complex dynamic between trust, overreliance, underuse, and human agency. This paper examines how trust is built, distorted, or lost in interactions with GAI systems, drawing on ten recent studies that span design, ethics, psychology, and human-computer interaction.

Keywords: Generative Artificial Intelligence, Human-AI Interaction, Trust Calibration, AI Ethics, Interface Design, Bias and Fairness, Human-Machine Collaboration, AI Explainability

DESIGN, SYNTHESIS, CHARACTERIZATION AND THERMAL PROPERTIES OF NEW BORON-CONTAINING AZO DYE POLYMERS

Assoc. Prof. Dr. DİLEK ÇANAKÇI

Adıyaman Üniversitesi, Teknik Bilimler M.Y.O., Gıda İşleme
canakcidilek@adiyaman.edu.tr

Abstract

Two new azo dye monomers were prepared by coupled the diazonium chloride salt solution of 2-nitro-4-(4,4,5,5-tetramethyl-1,3,2-dioxaborolan-2-yl)aniline with 1,4-Benzenediol and 1,3-Benzenediol in an alkaline solvent. In the next stage of the study, new azo dye polymers were synthesized by oxidative polycondensation method, using the synthesized monomers as starting material. Different spectral techniques such as Liquid chromatography-mass spectrometry (LC-MS) spectrum, gel permeation chromatography (GPC), nuclear magnetic resonance (^1H NMR), fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR), scanning Electron Microscopy (SEM) and thermal analysis (TGA/DTA/DTG) were used to study the structures of azo dye monomers and polymers. Data obtained from structural analysis show that azo dye monomers form polymers with different structures at the same temperature, time and base concentration. The thermograms show that the compounds undergo different decomposition processes.

Keywords: Azo dye, Polymer, TGA

EFFECT OF USE OF DIFFERENT LENGTHS OF BASALT FIBER ON CONCRETE STRENGTH

Lecturer PhD. MUTLU KURBAN

Çukurova Üniversitesi, AOSB Teknik Bilimler MYO, Tekstil Teknolojisi
mutlukurban80@gmail.com

Abstract

Concrete is a building material with high strength but no flexibility. Therefore, it is used by reinforcing it with various materials. Textile components are one of these reinforcements and textile components in various forms have been widely used in concrete reinforcement in recent years. Textile fiber is one of these forms and contributes to preventing or delaying crack formation in concrete structures. High strength fibers such as alkali-resistant glass, basalt and carbon or polymeric textile components with lower strength such as polypropylene or polyamide can be used in concrete reinforcement at different rates. In this study, 5 and 10 mm long basalt fibers were used in concrete at 4 different volume ratios (0.1-0.2-0.3-0.4%). A concrete mixture without reinforcement was also prepared for comparison. Cube samples of 100x100x100 mm were produced and tested to determine the compressive strength from the prepared mixtures and beam samples of 400x100x20 mm were produced and tested to determine the flexural strength. As a result of the tests, the best compressive and flexural strength was given to the samples containing 0.2% fiber by volume in both fiber lengths. The samples containing 5 mm fiber by volume provided a 17.3% increase in compressive strength and a 21.1% increase in flexural strength compared to the unreinforced samples. The samples containing 10 mm fiber by volume provided a 16.7% increase in both compressive and flexural strength compared to the unreinforced samples.

Keywords: Textile Reinforced Concrete, basalt fiber, compressive strength, flexural strength

THE PROCESS OF DEVELOPING A COMPUTATIONAL THINKING SKILLS TEST FOR GIFTED ELEMENTARY SCHOOL STUDENTS

MELİKE SOYSAL

Kocaeli Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Bilgisayar Teknolojisi
melike.soysal91@gmail.com

Assoc. Prof. Dr. Levent DURDU

Kocaeli Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Bilgisayar Teknolojisi
levent.durdu@kocaeli.edu.tr

Abstract

This study aims to develop a skills test to determine the level of Computational Thinking (CT) skills of gifted primary school third and fourth grade(9-10 years old) students. Technological developments not only change the educational environments, the knowledge and skills the teachers should possess, and accordingly the teaching processes, but this change process also affects the competencies that students should possess. Accordingly, both at national (MoNE) and international (ISTE, UNESCO) levels, new knowledge and skills expected from 21st century individuals, both as learners and as citizens of the future, have started to be defined. In this context, IS skills stand out as a competency that is measured to be evaluated in PISA exams. The definition of IS as "intellectual processes involving the formulation of problems and the solution steps to be performed by information processing tools" is adopted. Although different studies have been conducted on IS different age groups, the number of studies on gifted students and IS is quite limited. Accordingly, this study sought an answer to the research question "How should an IS skills test be developed for gifted third and fourth grade elementary school students?". In the process of developing the skills test, the test development stages described by Turgut questions were evaluated by 9 science experts working in different universities and 3 classroom teachers who have academic studies on Computational Thinking skills. In line with the expert opinions one question was completely changed, the visuals of one question were improved and minor changes were made in other questions. In line with the expert opinions, the skills test consisting of 12 questions in total, including Evaluation (3 questions), Algorithmic thinking (3 questions), Generalization (2 questions), Abstraction (2 questions) and Decomposition (2 questions), was finalized. In order to evaluate the processes of the target group students on the test, a pilot study was conducted with 8 students, 4 gifted and 4 normal learners, and the duration of the test was determined as 45 minutes and the test was given its final form.

Keywords: Computatioanl thinking skills, skills test, elementary school students, giftes students

USER TRUST AND PERCEPTION IN THE USE OF GENERATIVE ARTIFICIAL INTELLIGENCE

SENA BAYRAKTAR

Sakarya Üniversitesi, Bilgisayar ve Bilişim Bilimleri Fakültesi, Bilişim sistemleri mühendisliği
sena.bayraktar2@ogr.sakarya.edu.tr

Prof. Dr. NUMAN ÇELEBİ

Sakarya Üniversitesi, Bilgisayar ve Bilişim Bilimleri Fakültesi, Bilişim sistemleri mühendisliği
ncelebi@sakarya.edu.tr

Abstract

This study presents a systematic literature review aimed at examining the effects of generative artificial intelligence (GenAI) technologies on user trust and perception. As the widespread use of GenAI systems—particularly in areas such as natural language generation, image creation, and software development—continues to grow rapidly, trust in these technologies plays a critical role in their adoption and effective use. By reviewing current studies in the literature, key factors influencing user trust—such as system transparency, algorithmic bias, data privacy, response accuracy, and ethical compliance—are analyzed in detail. The findings reveal that user perception is directly related not only to technical competence but also to the ethical design and communication style of the system. In this context, the aim of the study is to contribute to the identification of user-centered design principles to enhance the reliability of GenAI systems.

Keywords: Generative Artificial Intelligence, User Trust, Reliability, Ethical Artificial Intelligence, Algorithmic Transparency

THE EFFECT OF MONOSODIUM GLUTAMATE ON TSC1 GENE EXPRESSION IN FISSION YEAST

DAMLA KALE

İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü
damlakale04@gmail.com

Assistant PhD. MERVE YILMAZER

İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik
merve.yilmazer@istanbul.edu.tr

Abstract

Tuberous sclerosis complex (TSC) is a rare inherited disorder characterized by abnormal cell proliferation and migration, as well as the formation of benign tumors (hamartomas) in multiple organs such as the brain, skin, lungs, heart, and kidneys. The *TSC1* and *TSC2* genes encode the proteins hamartin and tuberin, which act as negative regulators of the mTOR signaling pathway that controls cell growth and metabolism. Monosodium glutamate (MSG), which is widely used as a food additive, may potentially pose certain risks due to its effects on cellular processes such as oxidative stress, genotoxicity, and apoptosis. This study aimed to investigate the molecular effects of monosodium glutamate (MSG) on gene expression, cell growth, and apoptosis in the model organism *Schizosaccharomyces pombe*. The *tsc1* gene in fission yeast is the orthologous of the human *TSC1* gene and performs similar biological functions. Experimental results from parental and *tsc1Δ* mutant strains revealed that treatment with 8 mg/mL MSG led to increased *tsc1* gene expression, decreased cell proliferation, and significantly increased apoptosis. Moreover, changes in the expression levels of *tor1* and *atg14* genes support a regulatory role of *tsc1* in the mTOR signaling pathway. These findings suggested that MSG may interfere with cellular homeostasis through mechanisms involving *tsc1* and the mTOR pathway.

Keywords: Tuberous sclerosis complex, monosodium glutamate, fission yeast, apoptosis, cell growth

DETECTION OF HEAVY METAL INGREDIENTS OF CARDBOARD EGG TRAYS PRODUCED FROM WASTE PAPER

HAYRİYE SENA YILDIRIM HIZ

Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya
hayriye.hiz@ogr.sakarya.edu.tr

Prof. Dr. Mustafa Şahin DÜNDAR

Sakarya Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya
dundarms@yahoo.com

Abstract

Today, increasing consumption patterns have led to a rise in waste generation, which in turn contributes to environmental issues such as pollution, recycling, and waste management. In this regard, utilizing materials obtained through recycling in the production of new goods plays a crucial role in developing environmentally friendly alternatives. Wastepaper is among the most commonly used raw materials in recycling processes. However, the chemical substances used and the environmental factors involved in the recycling process of waste paper may have adverse effects on human health through the use of these products. The aim of this study is to determine the total concentrations of potentially toxic metals in cardboard egg trays made from wastepaper and to evaluate the potential health risks they may pose. For this purpose, samples of cardboard egg trays were collected from 10 different manufacturers operating across Turkey. The total concentrations of heavy metals such as Cd, Cr, Cu, Pb, and Zn, as well as the metal Al, were measured using Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES). The accuracy and reliability of the method were validated using certified standard reference materials (SRMs). The results revealed the presence of Cd, Cr, Cu, Pb, Zn, and Al in the samples. However, the measured concentrations were found to be at levels that do not pose a risk to human health according to the Regulation on the Turkish Food Codex, WHO, and EU health standards.

Keywords: Wastepaper, Recycling, Cardboard Egg Tray, ICP-OES, Heavy Metal Analysis, Human Health

RAIL SYSTEMS BODEN GREASE

Ezgi Özdemir

Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Polimer Bilimi ve Teknolojisi
ezgi.ozdemir.31@gmail.com

Özlem Ünal

Lubratech Endüstriyel Yağlar, Gebze, Kocaeli
ozlem.unal@lubratech.com.tr

Assoc. Prof. Dr. Merve Dandan Doğanç

Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Polimer Bilimi ve Teknolojisi
merwedandan@hotmail.com

Abstract

Wear on locomotive wheel flanges in railway transport is a significant technical problem that negatively impacts operational efficiency and increases maintenance costs. Optimizing wheel-rail interaction is critical, especially in curved sections, to preserve wheel lifespan and ensure the effectiveness of braking systems. Considering the performance limitations and application challenges of existing lubrication methods, this study aims to present the specifications and potential advantages of a high-performance domestic flange grease to be developed as a solution to these technical difficulties. The LUBRATECH BODEN GREASE series, to be formulated through an R&D process, is intended to be biodegradable and environmentally friendly. Furthermore, thanks to its composition including ester-based synthetic oils and special additives, it aims to maintain effective lubrication capabilities over a wide temperature range from -40°C to 100°C . This grease is targeted to reduce friction between the wheel and rail, extend wheel life, and decrease maintenance expenses and operational downtime by exhibiting high film strength and anti-wear performance even under extreme pressure (EP) conditions. The product is expected to demonstrate superior adhesion to applied surfaces, preventing dispersion and creep, through specially selected base oils, a modern thickener system, and performance-enhancing special additives (e.g., adhesion improvers, corrosion inhibitors, and UV stabilizers). It is also anticipated to show high resistance to water and the potential degrading effects of UV radiation, thus providing reliable performance even under harsh operating conditions. The performance characteristics of the developed prototypes will be determined by comprehensive laboratory tests conforming to international standards (ASTM, DIN, TS ISO). These tests will aim to verify the product's basic rheological properties (NLGI grade, penetration, base oil viscosity), load-carrying and anti-wear capacity (4-Ball EP/AW), water resistance (water washout), and thermal stability (dropping point, operating temperature). The targeted results are foreseen to reveal significant potential for enhancing railway safety, reducing operational costs, and contributing to the national economy through domestic production. This product, planned to be compatible with central lubrication systems, is intended to be offered to the railway sector as a more efficient, economical, and environmentally sensitive alternative to conventional lubrication solutions.

Keywords: Boden Grease, Rail Systems, Lubrication, Biodegradable Grease, Anti-Wear

CREATION OF THE MECHANICAL MATERIAL CARD FOR A PA6 MATRIX CONTINUOUS CARBON FIBER REINFORCED COMPOSITE

SİNAN ZIVALI

Yalova Üniversitesi, Yalova Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği
szivali@hotmail.com

Prof. Dr. İBRAHİM SEVİM

Yalova Üniversitesi, Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği
ibrahimsevim33@gmail.com

Abstract

In this thesis study, the mechanical performance of a composite material developed with a polyamide 6 (PA6) matrix and continuous carbon fiber reinforcement was analyzed through both experimental tests and numerical simulations. The investigated material is used in a patented automotive component called the “tunnel bracket” and was evaluated in detail using Finite Element Analysis (FEA) within a CAE environment. Based on the obtained data, a material card was generated and validated through comparison with experimental results. This comprehensive process, encompassing production, testing, and analysis steps, clearly demonstrates the potential of plastic composites in industrial applications. The study provides an original contribution in both technical and academic terms, serving as a valuable reference for the relevant sector. Moreover, the successful correlation between test and simulation results confirms the reliability of the modeling approach and material definitions used throughout the CAE process.

Keywords: Polymer Matrix Composites, Carbon Fiber Reinforcement, Finite Element Analysis (FEA), CAE Simulation, Mechanical Properties

METALLOGRAPHIC AND HARDNESS ANALYSIS OF 6000 SERIES ALUMINUM ALLOY WELDED USING DIFFERENT PARAMETERS

Furkan Kadir Bayram

Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği
fkadiryayram@gmail.com

Abstract

Aluminum parts are commonly used in the production of metallographic sample preparation devices. These parts are exposed to mechanical and physical effects, particularly in cutting machines, grinding devices, and mounting presses. In this study, welding was performed by changing only the welding parameters without altering the base materials or production methods. Tungsten Inert Gas (TIG) welding was selected as the welding method, with pure argon used as the shielding gas. The welding was carried out using alternating current. The base material was a 6000 series aluminum alloy, and the filler metal was 4047 alloy wire. A pure tungsten electrode was used. During the welding process, parameters such as current, frequency, balance, and gas flow rate were varied, and welding was done manually. The current ranged from 110 A to 220 A; frequency from 20 Hz to 150 Hz; and balance from 35% to 85%. After welding, the samples were allowed to cool at room temperature. Sections were cut from the weld zones using a precision cutting device, ground with abrasive papers from 320 to 2500 grit, and polished with a 3-micron diamond suspension. The polished samples were examined under an optical microscope at 5x, 10x, 20x, and 50x magnifications, and were also analyzed with SEM. The highest weld metal hardness was observed in two conditions: when all parameters were at their maximum, and when balance and frequency were at mid-levels while current was at its minimum. Increased weld penetration was observed at higher current and frequency levels. Gas porosity was present in all welds, the least porosity occurred at medium current and frequency values, while the highest porosity appeared when either current or frequency was at its maximum.

Keywords: Aluminium, Welding, TIG

REDUCING COGNITIVE LOAD WITH GENERATIVE ARTIFICIAL INTELLIGENCE

ELİF ŞİLE

Sakarya Üniversitesi, Bilgisayar ve Bilişim Bilimleri Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği
elif.sile@ogr.sakarya.edu.tr

Abstract

In recent years, rapidly advancing generative artificial intelligence technologies have the potential to transform human-computer interaction and reduce cognitive load for individuals. This study explores how large language models, visual generation tools, and similar GenAI systems can assist users in cognitively demanding processes such as information processing, decision-making, and content creation. Through case studies in various fields, including education, healthcare, and business, the study demonstrates how GenAI simplifies complex tasks and reduces mental effort. By combining perspectives from cognitive psychology and human-centered AI design, this work presents a novel approach to how generative AI can be used to develop more efficient and user-friendly systems. In this context, design principles for GenAI solutions that provide cognitive support are proposed.

Keywords: Generative AI, cognitive load theory, generative AI in education, generative AI in healthcare, generative AI in banking, generative AI in healthcare.

REDUCE SHIP MAGNETIC SIGNATURE

BURHAN SAVRAN

Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği
215102005@kocaeli.edu.tr

Assoc. Prof. Dr. ERSOY KELEBEKLER

Kocaeli Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği
ersoy@kocaeli.edu.tr

Abstract

The causes of the magnetic signature emitted by ships include various components involving pressure, electrical, seismic, optical, acoustic and radar. It is crucial to decrease the magnetic traces of ships to mitigate magnetic disturbances in the sea because of as a result of the Earth's magnetic field and to protect ships from magnetic mines. It is necessary to taken into consideration all sources that produce both induced and permanent magnetic fields in order to assess a ship's susceptibility to magnetic detection. Comprehending and managing magnetic signatures in military vessels is one of the most crucial problems facing naval forces across the globe. This study examines the fundamental sources of natural magnetism and ship magnetic signatures from a physical and engineering perspective. It explores the methods used for the detection, characterization, and mitigation of magnetic signatures using current technological approaches. Furthermore, a comparative analysis is conducted on the magnetic signatures of ships constructed in two geographically distinct regions with different magnetic properties, aiming to evaluate the impact of construction location on a vessel's magnetic signature.

Keywords: Magnetism, degaussing, coil

A MODEL PROPOSAL FOR INVENTORY AND PRODUCTION PLANNING BASED ON THE REVERSE PLANNING APPROACH

HÜSEYİN ALP ERDEM

Sakarya Üniversitesi, Bilgisayar ve Bilişim Bilimleri Fakültesi, Bilişim Sistemleri Mühendisliği
alp.erdem@ogr.sakarya.edu.tr

Assist. Prof. Dr. Fatih Çallı

Sakarya Üniversitesi, Bilgisayar ve Bilişim Bilimleri Fakültesi, Bilişim Sistemleri Mühendisliği
fcalli@sakarya.edu.tr

Abstract

One of the most pressing challenges in modern production systems is the emergence of excessive inventory, unplanned production, and resource waste, primarily driven by demand fluctuations and resource constraints. To address these issues, it is necessary to move beyond traditional Make-to-Stock (MTS) and Make-to-Order (MTO) strategies. This study adopts a reverse planning approach that offers an alternative perspective to conventional production planning methodologies. Unlike conventional top-down planning methods, reverse planning employs a bottom-up, inductive approach in which production decisions are derived from available stock components. By identifying feasible product combinations based on current inventory, this model aims to minimize external procurement needs and maximize resource efficiency. The core problem addressed in this study is mathematically formulated as a multi-criteria adaptation of the Knapsack Problem tailored for production planning. For solving the model, Greedy and Genetic Algorithms were selected due to their ability to provide fast and applicable solutions under large-scale and complex production scenarios. This study introduces an original solution framework by formulating the conceptually underdeveloped notion of reverse planning through two artificial intelligence-based heuristic models. With its inductive, bottom-up approach centered on available resources, the proposed model challenges conventional production planning paradigms and offers a novel direction for future research in manufacturing systems.

Keywords: Reverse Planning, Inventory Optimization, Greedy Algorithm, Genetic Algorithm, Knapsack Problem, Production Planning, Make-to-Order, Make-to-Stock

REAL-TIME HUMAN ACTIVITY CLASSIFICATION USING MMWAVE RADAR AND DEEP LEARNING-BASED APPROACH

ETHEM ŞEKERCİ

Kocaeli Üniversitesi, Fen BİLİMLERİ FAKÜLTESİ, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği
225103010@kocaeli.edu.tr

Assist. Prof. Dr. Ayhan Küçükmanisa

Kocaeli Üniversitesi, MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği
ayhan.kucukmanisa@kocaeli.edu.tr

Abstract

This study presents an innovative approach aimed at the real-time classification of human movements using millimeter-wave (mmWave) radar sensors. The Texas Instruments IWR6843ISK radar sensor was used in the study. Data was collected under various environments and conditions and recorded using the ROS2 infrastructure. The collected data was preprocessed, normalized, and labeled. The developed model categorizes human movements into basic motion classes such as bending at the waist, arm waving, arm swinging, and stretching to the right and left, and is also designed to integrate different types of movements into the system. The model's performance was evaluated using a confusion matrix created based on these classes. High accuracy rates were achieved in the analysis. The results demonstrate that this mmWave radar-based approach can reliably and effectively classify human movements under various environmental conditions. This study provides a robust infrastructure for real-time, contactless monitoring systems in areas such as smart living environments, health monitoring systems, and human-machine interaction.

Keywords: mmWave radar, deep learning, human activity recognition, real-time classification, ROS2

AN OVERVIEW OF ENZYMES IN COSMETICS: PAST, PRESENT AND FUTURE**Assoc. Prof. Dr. Ömer GÜNGÖR**

Kocaeli Üniversitesi, Hereke Asım Kocabıyık MYO, kimya ve kimyasal işleme teknolojileri
omer.gungor@kocaeli.edu.tr

Lecturer PhD. Ruhan ÖZEL

Kocaeli Üniversitesi, Hereke Asım Kocabıyık MYO, Kimya ve Kimyasal İşleme Teknolojileri
ruhan.ozel@kocaeli.edu.tr

Assist. Prof. Dr. Haifa BEN AZİZA

Kocaeli Üniversitesi, Hereke Asım Kocabıyık MYO, Kimya ve Kimyasal İşleme Teknolojileri
haifa.benaziza@kocaeli.edu.tr

Assist. Prof. Dr. Asmae Bouziani

Kocaeli Üniversitesi, Hereke Asım Kocabıyık MYO, Kimya ve Kimyasal İşleme Teknolojileri Bölümü
asmae.bouziani@kocaeli.edu.tr

Abstract

Enzymes are protein molecules that are involved in catalyzing biochemical reactions. Microbial enzymes in particular, act as catalysts for hydrolysis, oxidation, or reduction reactions. Produced by microorganisms such as bacteria, fungi, yeast, and algae [1], they are commonly referred to as biocatalysts. These enzymes play essential roles in numerous biochemical processes, both within living organisms and in industrial applications. Owing to their distinct physico-chemical properties; their high catalytic activity, rate-efficiency, environmental compatibility and cost-effectiveness, microbial enzymes have been extensively used in various industrial processes such as agriculture, chemical industry, paper and pulp industry, food and beverage industry, textile industry, pharmaceutical industry, analytical applications and cosmetics. In this review article, firstly a group of microbial enzymes including papaya fruit enzyme, coenzyme Q10, tyrosinase, protease, superoxide dismutase, laccase and lipases are examined from a general perspective. Then, the biochemical properties of these microbial enzymes, biotechnological applications and the importance of microbial enzymes in industrial bioprocesses are highlighted and some potential trends and developments that may shape the future of enzymes in cosmetics are discussed.

Keywords: Cosmetic, Papaya Fruit Enzyme, Coenzyme Q10, Superoxide Dismutase, Applications

1. Anbu, P., et al. (2017). Microbial enzymes and their applications in industries and medicine 2016. BioMed Research International. <https://doi.org/10.1155/2017/2195808>.
2. Adrio, J. L., & Demain, A. L. (2014). Microbial enzymes: Tools for biotechnological processes. Biomolecules, 4(1), 117–139.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE CORROSION RESISTANCE OF REINFORCED CONCRETE STEELS WITH ZINC ANODE ADDITION USING ACCELERATED CORROSION TESTING

SEVİM ŞEVVAL TUNÇAY

Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği
sevval@tuncaymuhendislik.com

Assoc. Prof. Dr. Mustafa Burak TELLİ

Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği
mustafa.telli@kocaeli.edu.tr

Abstract

Corrosion, which shortens the lifespan of steel in reinforced concrete structures, is defined as the loss of metallic properties of a metal surface as a result of chemical and electrochemical reactions with the surrounding environment. Since reinforced concrete structures cannot fully resist water and atmospheric conditions, they are exposed to corrosion even under natural environmental conditions. For this process to begin, the penetration of chloride ions and carbon dioxide into the structure, along with the presence of oxygen, moisture, and a conductive electrolyte medium, is required. In this study, accelerated corrosion tests were conducted to investigate the corrosion behavior of reinforcing steel in concrete and the factors affecting this process. The experiments were carried out in two different setups: in one, a zinc anode was added to the steel reinforcement, and in the other, only steel reinforcement was used. Corrosion development in both groups was monitored at regular intervals, and the effect of the zinc anode on corrosion rate and mechanisms was comparatively analyzed. According to the data obtained, the weight loss of steel in the specimens without anodes was significantly higher than in those with zinc anodes tested over the same durations. Initially weighing approximately 81–82 grams, the steel in the anode-added sample lost 11.77 g by the end of the 6th day, whereas the steel in the sample without an anode lost 29.62 g. The data from the 2nd and 4th days similarly showed lower losses in the samples with zinc anodes. Especially by the 6th day, approximately 60% more mass loss was observed in the specimen without a zinc anode, demonstrating that the zinc anode provided effective protection against corrosion. The results indicate that the application of zinc anodes can significantly reduce the rate of corrosion in reinforced concrete structures and thereby extend the service life of the reinforcement.

Keywords: Corrosion, reinforced concrete steels, zinc anode, accelerated corrosion

BIAS AND DISCRIMINATION IN ARTIFICIAL INTELLIGENCE

MELİKE ÇEKEN

Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilişim Sistemleri Mühendisliği
melike.ceken2@ogr.sakarya.edu.tr

Abstract

The increasing use of artificial intelligence (AI) systems in decision-making processes necessitates their development in accordance with principles of justice, impartiality, and ethical responsibility. However, current applications reveal that algorithmic decisions can reproduce various forms of social bias and discrimination. This study analyzes how bias and discrimination emerge in AI systems by examining imbalances in datasets, assumptions in modeling processes, and ethical gaps in system design. Different types of discrimination—such as direct, indirect, and systemic—are discussed through case studies, aiming to raise both societal and academic awareness. Furthermore, the study explores design principles such as transparency, explainability, multi-stakeholder participation, and ethical oversight as key components for making AI systems more fair, inclusive, and accountable. It emphasizes that bias and discrimination in AI are not only technical issues but also social and ethical concerns, and it argues that addressing them requires a multidisciplinary approach.

Keywords: Artificial intelligence, bias, discrimination, ethics, decision support systems

MACHINE LEARNING-BASED THD CLASSIFICATION IN TOTEM POLE PFC CIRCUITS: AN INTERPRETABLE DESIGN STRATEGY USING DECISION TREES

AHMET BÜYÜKDAĞ

Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği
ahmetbuykdag63@gmail.com

Assist. Prof. Dr. Dr. Öğr. Üyesi MURAT ÜNLÜ

Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği
muratunlu@kocaeli.edu.tr

Abstract

Power factor correction (PFC) is a fundamental component required for power supplies to comply with input current harmonic standards. The totem-pole bridgeless PFC circuit is a high-efficiency topology. With the increasing adoption of high-frequency switching devices such as gallium nitride (GaN), it has become popular compared to other conventional PFC circuits, especially in single-phase AC-DC converters used in battery charging applications. This study proposes a machine learning-based classification method to evaluate the harmonic behavior of the Totem Pole power factor correction (PFC) topology and accelerate the design process of power electronic systems. Input variables include switching frequency and inductance, while output labels are derived from measured Total Harmonic Distortion (THD) values, categorized as “Low”, “Medium”, and “High”. A dataset of 145 experimental records was processed using MATLAB's Classification Learner toolbox. A Fine Tree decision model was trained, achieving a classification accuracy of 95.2%. The model was also tested with previously unseen data to evaluate its generalization capability. Performance metrics such as confusion matrix and decision boundary visualizations were used to interpret the results. Despite minor misclassifications near class transition regions, the model demonstrated reliable predictive accuracy across the design space. The output of this study is an explainable and lightweight decision support system that can be used in the early design stages of Totem Pole bridgeless PFC circuits. It can be applied as a data-driven preliminary evaluation tool for systems with high harmonic sensitivity, such as electric vehicle chargers.

Keywords: Totem Pole, Power Factor Corrections, Machine Learning, THD, Decision Trees, Classification

INVESTIGATION OF THE BOOST CIRCUIT DESIGNED WITH THE LT1070 INTEGRATED ELEMENT ACCORDING TO THE EN 55014 STANDARD

DENİZ METİN

Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği
deniz_metin_007@hotmail.com

Assoc. Prof. Dr. Doç. Dr. Ersoy KELEBEKLER

Kocaeli Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği
ersoy@kocaeli.edu.tr

Abstract

Switched power supplies have become widely used due to technological advancements. DC-DC converters are utilized in various fields such as communication, automotive, and energy systems. While spreading the application areas of DC converters, electromagnetic compatibility (EMC) issues have also emerged. As operating together, Electronic devices can cause electromagnetic interference (EMI) that affects each other. This interference is called electromagnetic noise. Electromagnetic interferences are categorized into two types: conducted noise and radiated noise. In this study, a boost (step-up) circuit has been designed, simulated and realized. The LT1070 integrated circuit was chosen as the switching element in the boost circuit. The boost circuit converts 5V input voltage into 12V output voltage. The simulations in LTspice program and electromagnetic compatibility tests of the designed circuit were performed. The conducted emission noise has been evaluated according to the EN 55014 standard. It has been observed that the conducted noise values did not meet the limits specified by the EN 55014 standard. In the study, an electromagnetic interference filter to reduce the conducted noise values below the limits has been designed and, so, the boost converter can meet requirements of the standard.

Keywords: Electromagnetic Compatibility, EMI Filter Design, Electromagnetic Interference

NUMERICAL AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF SHAFT DESIGN FOR VIBRATION REDUCTION IN VERTICAL AXIS WIND TURBINE SYSTEMS

Lecturer SAMET SARIOĞLU

Bülent Ecevit Üniversitesi, Alaplı Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri
samet.sarioglu@beun.edu.tr

Prof. Dr. Hamit SARUHAN

Düzce Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği
hamitsaruhan@duzce.edu.tr

Abstract

Wind turbines, which offer a clean, sustainable and economical energy solution, meet the increasing energy demand by converting the kinetic energy of the wind into mechanical energy and generating electricity. Small wind turbines are widely used to meet low-scale energy requirements such as home, school, greenhouse applications, temporary settlements, military camps and field hospitals. However, the mechanical components of the turbine such as the rotating shaft, chassis, wings, wing arms, gears and bearings can create unwanted vibrations due to irregular and variable loads of the wind. Such vibrations can lead to the failure of the turbine and decrease its performance over time. In particular, the vibrations created by the rotating shaft can cause unstable operation of the turbine system and even damage it. Therefore, determining the dynamic behavior of the shaft is of great importance in terms of controlling the vibration. Excessive vibrations and instabilities can seriously affect the overall performance and structural stability of the wind turbine. This study aims to investigate numerically and experimentally the rotating shaft design with different profile sections and materials for vibration reduction in a vertical axis wind turbine system. For the tests, four shafts made of different profile sections and materials, namely AISI 1040 Solid, AISI 4140 Solid, AISI 1040 Pipe, Carbon Fiber Reinforced Plastic (CFRP) Pipe, were manufactured. In order to understand the dynamic behavior characteristics of the shaft, which are called modal parameters, such as natural frequencies, mode shapes and structural damping, the results obtained using the Finite Element Method and Operational Deflection Shape technique were compared. The results revealed that the profile section and material properties of the rotating shaft can have a significant effect on the operational stability of the wind turbine system.

Keywords: Wind Turbine, Vibration Reduction, Finite Element Method, Operational Deflection Shape

EXPERIMENTAL AND NUMERICAL INVESTIGATION THE EFFECTS OF A SHAFT WITH DIFFERENT GEOMETRY ON VIBRATION REDUCTION IN VERTICAL AXIS WIND TURBINE SYSTEM

Lecturer SAMET SARIOĞLU

Bülent Ecevit Üniversitesi, Alaplı Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri
samet.sarioglu@beun.edu.tr

Prof. Dr. Hamit SARUHAN

Düzce Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği
hamitsaruhan@duzce.edu.tr

Abstract

Wind turbines that convert the kinetic energy of wind into electrical energy are increasingly important source of renewable energy. They are designed and manufactured in a wide range of sizes. Small wind turbines may be used for a wide variety of applications including small business, houses, schools, temporary tent cities, field hospitals, military camps, greenhouses, and agriculture. Small size wind turbines are more exposed to non stationary wind. This may cause resonant conditions with the wind turbine structure excessive vibration frequencies that results failure of the wind turbine system. It is important to reduce vibration in the wind turbine shaft so that it can be avoid vibration transformation on the wind turbine system. Thus, reducing vibration are one of the solution to maximize power production and preventing failure of wind turbine systems. Wind turbines are categorised as horizontal and vertical axis as the axis of rotation. This study aims to experimentally and numerically investigate the effects of a shaft with different geometry on vibration reduction characteristics for a small size vertical axis wind turbine system under different wind conditions. Two shafts with different profile cross section area, AISI 1040 Solid and AISI 1040 Hollow, were manufactured and tested. For understanding the dynamic characteristics of the shaft in terms of modal parameters namely called the natural frequencies, mode shapes, and structural damping were identified and quantified using the Experimental Modal Analysis (EMA) method and the Finite Element Method (FEM). Also, Order Analysis (OA) was also performed at wind velocities of 5, 9, and 12 m/s generated by wind tunnel to explore further understanding the dynamic characteristics of the shafts. From overall results, the vibration amplitude value of the AISI 1040 Hollow shaft was found to be lower than that of the AISI 1040 Solid and the damping ratio of the AISI 1040 Hollow shaft was found to be greater. The results showed that geometry of the shaft has a big effect in terms of vibration amplitude values and damping in the wind turbine system.

Keywords: Wind turbine, Shaft, Vibration Reduction, Experimental Modal Analysis, Finite Element Method, Order Analysis

RAPID DESIGN OF EARTHQUAKE-RESISTANT HOUSING USING VARIOUS TYPES OF SPECIAL CONCRETE

SEMANUR KULAKSIZ

Kocaeli Üniversitesi, FEN BİLİMLERİ, İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
kulaksizsemanur@gmail.com

Abstract

This study aims to investigate the applicability of various types of special concrete in the design of rapidly producible and earthquake-resistant housing. Turkey's location on active fault lines keeps the threat of earthquakes constantly on the agenda, making the development of innovative approaches to structural safety essential. In particular, the earthquakes centered in Kahramanmaraş in 2023 raised concerns about the resilience of existing building stock and once again highlighted the importance of rapid, reliable, and sustainable housing production. In this context, the research evaluates the structural and physical properties of contemporary concrete materials such as ferrocement, light-transmitting concrete, glass aggregate concrete, and soil-cement. These types of concrete were analyzed in terms of their ease of construction for rapid housing, environmental benefits, and cost advantages. Both two-dimensional technical drawings and three-dimensional digital visualizations of housing models constructed with special concretes were prepared, and the designs were optimized using engineering software. Ferrocement stands out with its low weight, moldability, and economical production process, while light-transmitting concrete offers advantages in terms of energy efficiency and visual coherence. Glass aggregate concrete provides an environmentally friendly alternative due to its recycled content, and soil-cement attracts attention for its low-cost and rapid construction processes. This study, through the integration of engineering and architectural disciplines, contributes to the development of sustainable, safe, and mass-producible housing typologies for regions with high seismic risk. The findings are expected to offer significant contributions to the literature and practitioners in the fields of earthquake-resistant construction technologies and post-disaster rapid settlement solutions.

Keywords: Glass Aggregate Concrete, Ferrocement Concrete, Rapid Earthquake Housing Design, Light-Transmitting Concrete, Soil-Cement

THE EFFECTS OF WEATHER DATA ON SHORT-TERM ELECTRICITY LOAD FORECASTING

HABİL ERGEN

Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği
habiltergen@gmail.com

Lecturer PhD. MURAT ÜNLÜ

Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği
muratunlu@kocaeli.edu.tr

Abstract

Accurate forecasting of electricity consumption demand is of great importance for power companies in terms of planning and resource management, and therefore, the effects of weather on electricity load forecasting need to be fully characterized. In this study, the effects of weather on short-term electricity load forecasting are investigated. A powerful machine learning model such as Catboost is combined with independent variables such as historical load data, day characteristics and holidays to forecast electricity load. First, forecasts are made without including weather data in the model, then forecasts are made again by adding weather data to the model and the error performances of the model are compared for both cases. It was found that there was a 6.14% performance improvement in MAPE values with the addition of weather data to the dataset.

Keywords: Catboost, Weather, Machine learning, MAPE

ANALYSIS OF THE EFFECTS OF AUTOCLAVE, VACUUM INFUSION AND 3D METHODS ON PRODUCTION EFFICIENCY AND COST IN DEFENCE INDUSTRY

OSMAN FURKAN KOÇYİĞİT

Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Savunma Teknolojileri
osmanfurkankocyigit@gmail.com

Prof. Dr. HÜSEYİN CANBOLAT

Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Savunma Teknolojileri
huseyin.canbolat@aybu.edu.tr

Abstract

The aim of this study is to comparatively analyze the production efficiency and cost performance of autoclave and vacuum infusion, two composite production methods widely used in the defense industry, and three-dimensional (3D) printing technologies, which have gained importance in recent years. In the first part of the study, the basic principles, process parameters and application areas of all three methods in the defense industry are introduced. In the second part, performance indicators such as cycle time, material utilization efficiency, labor intensity, energy consumption and waste rate as well as unit part costs were measured through case studies and experimental prototypes based on real production data. In the light of the data obtained, it was determined that although the autoclave process offers high mechanical strength and consistent quality, it increases the production cycle time and investment cost due to long drying and heat treatment times, especially for large-volume parts; vacuum infusion provides an optimal intermediate solution with lower equipment and consumable costs while providing intermediate mechanical properties; 3D printing technologies, on the other hand, despite the advantages of design flexibility and low labor cost, have not yet been fully adapted to mass production due to the mechanical strength limitations of the additive manufacturing structure and the slowness in printing speed.

Keywords: Composite production methods, Autoclave process, Vacuum infusion, 3D printing technologies, Production efficiency, Cost analysis

**EFFECT OF CULTURE FILTRATE FROM ASPERGILLUS NIGER ON
EMBRYOGENIC CALLUS FROM ALFALFA (MEDICAGO SATIVA L.)****Assistant AYŞE ÜSTÜN BAŞKUT**Erzurum Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü
*ayse.ustun@erzurum.edu.tr***PhD. BÜŞRA YAZICILAR**Erzurum Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü
*busra.yazicilar21@erzurum.edu.tr***MERVE ŞİMŞEK GEYİK**Erzurum Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü
*merve.simsek49@erzurum.edu.tr***Abstract**

Plant callus cultures present different biochemical and physiological responses under various conditions, such as the application of different hormones or exposure to stress factors. In order to promote plant growth, it is important to develop new and effective strategies to counter these physiological responses. This study examines the morphological and biochemical impacts of culture filtrate (CF) extracted from *Aspergillus niger* on embryogenic callus formation in *Medicago sativa* L. (alfalfa). Morphologically, CF-treated cultures exhibited better characteristics than the control. Biochemical analyses revealed a significant increase in sucrose and CF-treated groups. CF treatments also increased total phenolic content and lignin content decreased compared to the control. In summary, the findings suggest that CF from *A.niger* can influence various biochemical and morphological characteristics of alfalfa callus, offering potential implications for enhancing somatic embryogenesis in plant tissue culture systems.

Keywords: *Medicago sativa*, callus, phenolic content, *Aspergillus niger*, lignin

DEEP LEARNING MODELS FOR FORECASTING BIST RENEWABLE ENERGY STOCKS

OZAN ALP

Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, İstatistik Bölümü, İstatistik
ozannalp1@gmail.com

Assoc. Prof. Dr. GÜLDER KEMALBAY

Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, İstatistik Bölümü, İstatistik
kemalbay@yildiz.edu.tr

Abstract

This study presents a comparative evaluation of deep learning models—Long Short-Term Memory (LSTM), Gated Recurrent Unit (GRU), Recurrent Neural Network (RNN), and Amazon Chronos—for forecasting the stock prices of twelve companies operating in the renewable energy sector and listed under the BIST Electricity Index. The dataset comprises daily stock prices from November 16, 2022, to March 19, 2025. Model performance is assessed using four standard error metrics: Mean Absolute Error (MAE), Mean Squared Error (MSE), Root Mean Squared Error (RMSE), and Mean Absolute Percentage Error (MAPE). For each stock, the best-performing model was determined based on the MAPE criterion, while MAE values were used to assess overall consistency across methods. Results indicate that although different models performed best for different stocks, the LSTM model showed the most consistent accuracy in terms of MAPE, suggesting its strong capability in capturing temporal dependencies in stock price movements within the renewable energy sector.

Keywords: Time Series Forecast, Portfolio Optimization, Renewable Energy, Deep Learning

COMPARISON OF DAMAGES AND MAINTENANCE COSTS OF ROAD SUPERSTRUCTURES

VİLDAN DOĞAN

Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği
doanvildan@gmail.com

Assist. Prof. Dr. Serkan ENGİN

Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği
serkan.engin@kocaeli.edu.tr

Abstract

Road constitute the most important part of transport in Turkey. In terms of length, 66% of Turkey's road network consists of surfaced roads, 29% of asphalt roads and 5% of other roads such as stabilised, soil and parquet. Among these road types, surface, asphalt, stabilised and earth roads are constructed with flexible superstructure and it is a pavement type that has been applied in road constructions for many years. Apart from these types of roads, concrete roads have found application area in recent years and the superstructure on these types of roads is called rigid. The construction phases and maintenance processes of the different road types mentioned vary and accordingly the construction costs also vary. In this study, firstly, the construction stages of surface, asphalt and concrete roads are explained and their costs are compared. Subsequently, the economic life of these roads, the types of damage that may occur over time with the use of these roads and the maintenance / repair costs of the damage types were compared and conclusions were made about which road should be preferred according to the results obtained.

Keywords: Surfaced road, asphalt road, concrete road, construction cost, maintenance cost

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF DEEP SOIL MIXING (DSM) METHOD ON SOIL BEARING CAPACITY OF ANKARA-İZMİR HIGH SPEED TRAIN ROUTE

AHMET TUNÇSOY

Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
tuncsoyahmet@hotmail.com

Assist. Prof. Dr. SERKAN ENGİN

Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
serkan.engin@kocaeli.edu.tr

Abstract

Deep Soil Mixing (DSM) method, which is widely used in many countries around the world, has started to be applied in our country in recent years as an advanced ground improvement technique and has been included in Turkish Standards. Soil improvement aims to improve the engineering properties of the soil by various methods to bring it to the desired performance level. The DSM method is based on in-situ mixing of the soil with cement and/or other binding materials. In this study, within the scope of Ankara-İzmir High Speed Train Line Construction Work, geotechnical evaluations of the route embankments between KM: 20+580 - 22+700 within the scope of Ankara-İzmir High Speed Train Line Construction Work. According to the geological model prepared for the relevant section, field and laboratory studies and field observations, the route was divided into homogenous zones. Critical sections representing each region were selected and the soil properties obtained from the tests before and after DSM application were compared. Within the framework of the data obtained in the study, it is observed that the DSM method is very effective in improving the design properties of the soils on the high speed railway line route. The study provides a general perspective on the DSM method, shares the findings obtained through the applications on a sample route and aims to contribute to the more effective use of this method in different projects.

Keywords: Soil Improvement, Deep Soil Mixing (DSM), Soil Liquefaction, Soil Stability

INVESTIGATION OF DRUG RELEASE EFFECTIVENESS OF AMPHIPHILIC COPOLYMERS

Assistant AYŞEGÜL ÖZBAL

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü
aysegul.ozbal@ogu.edu.tr

Prof. Dr. VURAL BÜTÜN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü
vbutun@ogu.edu.tr

Abstract

In order to increase the bioavailability of newly developed drugs and reduce their toxic effects, it is very important to develop materials that can load enough drug, carry this drug to the target region in a controlled manner and release it in a controlled manner. In this study, a diblock copolymer that is double hydrophilic in acidic medium and hydrophilic-hydrophobic in neutral and basic medium was synthesized. Micelle solution was prepared with the help of the amphiphilic nature of the prepared polymer and cross-linked micelle solutions were prepared by cross-linking the corona in order to increase the stability of the prepared micelles. Drug release profiles of both precursor micelles and cross-linked micelles were determined in vitro in pH 7.4 phosphate buffer solution by selecting dipyridamole (DIP), a drug frequently used in cardiovascular diseases, as a model drug. While 53.8% DIP release was observed in micelles at the end of 93 hours, 14.7% DIP release (slower release) was obtained from cross-linked micelles. The advantages and disadvantages of micelle and cross-linked micelle systems were discussed and it was revealed that they have significant potential as carrier and delivery systems.

Keywords: Micelle, cross-linked micelle, drug delivery

REDUCTION OF PIMA INDIANS DATASET USING ROUGH CLUSTERING THEORY AND EXTRACTION OF DECISION RULES

MEHMET YÜKSEL

Sakarya Üniversitesi, Bilgisayar ve Bilişim Bilimleri Fakültesi, Bilişim Sistemleri Mühendisliği
mehmet_yuksel706@hotmail.com

Assist. Prof. Dr. HÜSEYİN DEMİRCİ

Sakarya Üniversitesi, Bilgisayar ve Bilişim Bilimleri Fakültesi, Bilişim Sistemleri Mühendisliği
huseyind@sakarya.edu.tr

Abstract

Nowadays, early diagnosis of chronic diseases such as diabetes has a critical importance in the management of the disease and prevention of complications. In this study, it is aimed to create data reduction and decision rules using rough clustering theory on the Pima Indians Diabetes dataset. Unnecessary variables in the data set were eliminated and a reduced data set was created and decision rules were obtained on this set. The accuracy of the developed model was tested by comparing it with the ‘Rosetta’ software and the results of both methods were interpreted. In the first part of the study, the importance of diabetes disease, early diagnosis processes and the contribution of machine learning approaches to these processes are discussed. In the second part, the mathematical foundations of rough clustering theory and its applications in the literature are analysed. In the third section, the characteristics of the Pima Indians Diabetes dataset, preprocessing steps and categorisation processes are explained in detail. In the fourth section, the developed method and modelling processes are detailed and the data reduction processes and the decision rules obtained are discussed. In the fifth section, the findings are evaluated and the fit analysis of the model developed with ‘Rosetta’ software is performed. In the sixth section, a general evaluation of the study is made. Finally, in the seventh section, suggestions for future studies are presented.

Keywords: Diabetes, Rough Clustering Theory, Data Reduction, Decision Rules, Pima Indians Diabetes Dataset

FINITE ELEMENT ANALYSIS OF COMBINED ACL RECONSTRUCTION AND LATERAL EXTRA-ARTICULAR TENODESIS: BIOMECHANICAL IMPACT ON KNEE JOINT STABILITY AND GRAFT PROTECTION

Assist. Prof. Dr. Çağatay Taşdemirci

Anglia Ruskin University, Faculty of Health, Medicine and Social Care, School of Medicine
tasdemircicagatay@gmail.com

Assoc. Prof. Dr. Talip ÇELİK

Kocaeli Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Biyomedikal Muhendisliği
talip.celik@kocaeli.edu.tr

Mahbub ALAM

East Suffolk and North Essex Foundation Trust, Diger, Ortopedi Cerrahi
Mahbub.ALAM@esneft.nhs.uk

Prof. Dr. Arif ÖZKAN

Kocaeli Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Biyomedikal Muhendisliği
arif.ozkan@kocaeli.edu.tr

Prof. Dr. Barbara Krystyna PIERSCIONEK

Anglia Ruskin University, Faculty of Health, Medicine and Social Care, School of Medicine
Barbara.PIERSCIONEK@aru.ac.uk

Abstract

Residual rotatory instability following anterior cruciate ligament reconstruction (ACLR) remains a significant concern, particularly in high-risk populations. This study aims to biomechanically evaluate the effect of combining Lateral Extra-articular Tenodesis (LET) with ACLR on knee joint stability and graft strain using Finite Element Analysis (FEA). Methods: A validated three-dimensional finite element model of the human knee was developed using segmented MRI data, incorporating the femur, tibia, cartilage, menisci, and key ligaments. The model simulated two surgical conditions: (1) isolated ACLR and (2) ACLR combined with a modified Lemaire LET. Physiological loading conditions were applied to replicate a pivot-shift scenario, including 5–7 Nm internal rotation torque, 8–10 Nm valgus moment, and 134 N anterior tibial load at 30°–60° knee flexion. Nonlinear anisotropic material properties were assigned to soft tissues, and simulations assessed anterior tibial translation (ATT), internal tibial rotation, ACL graft strain, and joint contact pressures. Results: Compared to ACLR alone, the addition of LET significantly improved rotatory stability, reducing ATT from approximately 5–7 mm to 2–4 mm and internal tibial rotation by 30–50%. ACL graft strain decreased from an average of 8–10% to 4–6%, indicating reduced load transmission to the intra-articular graft. The LET graft bore approximately 20–35% of the rotational load, effectively sharing the stabilizing function. A slight increase in lateral compartment contact pressure was observed, warranting attention to potential overconstraint. Conclusion: FEA demonstrates that LET effectively complements ACLR by enhancing joint stability and protecting the ACL graft from excessive strain. These findings support the biomechanical rationale for LET augmentation, particularly in patients with high-grade pivot shift or generalized ligamentous laxity. However, overconstraint risk necessitates careful surgical technique and tensioning.

Keywords: Anterior cruciate ligament reconstruction (ACLR), Lateral extra-articular tenodesis (LET), Finite element analysis (FEA), Knee joint biomechanics, ACL graft strain, Pivot-shift, Modified Lemaire technique, Knee stability, Ligament injury modeling

CONSTRUCTION, CHARACTERIZATION AND CYTOTOXIC ANALYSIS OF ROSMARINIC ACID (RA)-LOADED PLGA NANOPARTICLES FOR BREAST CANCER THERAPY

Tuğba Çavdar

Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoteknoloji
tugba.cavdar@std.yildiz.edu.tr

Cansu Tatar

Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik
cansu.tatar@std.yildiz.edu.tr

Assoc. Prof. Dr. Ayşegül Erdemir

Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik
aerdemir@yildiz.edu.tr

Abstract

Breast cancer is a heterogeneous disease with various subtypes, risk factors, and treatment responses (Lopez-Garcia et al., 2010). Despite advancements in treatment, the underlying mechanisms remain partially unresolved, emphasizing the ongoing need for novel therapeutic strategies. Natural bioactive compounds, such as rosmarinic acid (RA) from *Rosmarinus officinalis*, have attracted considerable attention due to their anticancer potential. RA has demonstrated pro-apoptotic activity in various cancer models, particularly in breast cancer (Messeha et al., 2020). Despite its therapeutic potential, RA suffers from low bioavailability and rapid biodegradation in the systemic circulation (Fuster et al., 2021). Nanotechnology offers a promising platform to enhance the pharmacokinetic properties of RA. Nanoparticles synthesized by various methods have been shown to improve the therapeutic efficacy of anticancer agents while reducing side effects (Elvany et al., 2021). This study aims to develop RA-loaded PLGA nanoparticles as a drug delivery system for breast cancer therapy. Two different RA-PLGA nanoparticles were synthesized via single emulsion solvent evaporation method, with minor adjustments to the procedure optimized in our laboratory. The reaction yield, encapsulation efficiency, and drug loading capacity of synthesized nanoparticles were calculated. Size, size distribution, and zeta potential of nanoparticles were characterized using DLS via a Zeta Sizer. Subsequently MTT assay was performed on MCF-7 breast cancer cells to evaluate cytotoxicity of RA-loaded PLGA nanoparticles. Two different nanoparticle formulations exhibited reaction yields of 72% and 24%, with encapsulation efficiencies of 22% and 47%, and drug loading capacities of 1.24% and 7.42%, respectively. The sizes of the formulations were 215 nm and 230.7 nm, with PDI values of 0.242 and 0.251, indicating acceptable size distribution. The zeta potentials of the nanoparticles were -25.9 mV and -22.8 mV, indicating acceptable colloidal stability attributable to sufficient electrostatic repulsion. According to the MTT assay results, a dose-dependent decrease in cell viability was observed following 24 hours of incubation. RA-loaded nanoparticles exhibited an IC_{50} at 40 μ g/mL, indicating enhanced cytotoxic efficacy through nanoparticle delivery.

Keywords: Breast Cancer, Nanoparticle, PLGA, Rosmarinic Acid, Drug Delivery

DEVELOPMENT OF 8079 ALUMINUM/POLYMER COMPOSITE STRUCTURE USING CO-EXTRUSION TECHNIQUE

MERVE ÖZAYDIN

Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ
merveozaydin95@hotmail.com

Assoc. Prof. Dr. MUSTAFA BURAK TELLİ

Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ
mbt115@gmail.com

GÜVENÇ GÜNERİ

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, KİMYA
guvenc.guneri@ispak.com

Engineer NİHAT YILMAZ

İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, METALURJİ VE MALZEME
MÜHENDİSLİĞİ
Nihat.yilmaz@assanaluminyum.com

Abstract

Food packaging materials mainly serve the function of protecting the products inside and introducing the food product to the consumer. Therefore, the focus is on the design, properties, availability, safety, etc. of the packaging material to be used for thermally processed food and beverages. Materials such as polymers, food-compatible metals and paper are used in packaging structures. Polyethylene (PE), Polypropylene (PP), bi-oriented polypropylene (BOPP), machine-oriented PE (MDO PE), pearlized film are examples of widely preferred packaging polymers. The water (WTR) and oxygen (OTR) barriers of polymers are low compared to metals. Studies are being carried out to improve these properties. However, the barrier properties of metals have not been overcome. Aluminum (Al) is used in thin packaging foils due to its good formability, corrosion resistance and barrier properties. Aluminum foils can be easily coated, laminated, printed and provide all the necessary features for the packaging industry. Co-extrusion coating process is one of the most widely used production methods in the packaging industry. This technique involves the simultaneous application of polymers with different properties to the coating surface in the same equipment to obtain a multilayer product with certain properties. The aim is to combine the properties of the component polymers (impact and scratch resistance, appearance, barrier properties) in a single product and to obtain good adhesion between the different layers. Within the scope of this study; friction (COF), peel test and optical microscope images of the 8079 Al foil/polymer composite structure were investigated. The polymer mixture contained PE, ionomer, various metallic and organic additives. The production conditions are kept constant during co-extrusion process. When the friction and peel properties of the polymer mixtures were evaluated, the order of suitability of the recipes was R1>R2.

Keywords: Co-extrusion, Polyethylene (PE), ionomer, 8079 Aluminum Alloy, Exfoliation, COF, Coating

DETERMINATION OF ENVIRONMENTAL PERFORMANCE OF ADVANCED TREATMENT ALTERNATIVES IN BIOLOGICAL WASTEWATER TREATMENT PLANTS BY LIFE CYCLE ANALYSIS

ÖZGE ATABAY

Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği
ozge.cnsvr@gmail.com

Assoc. Prof. Dr. SİMGE ÇANKAYA

Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği
simge.taner@kocaeli.edu.tr

Abstract

Wastewater treatment plants play a critical role in protecting water resources and ensuring environmental sustainability. Although conventional biological treatment processes are effective in removing organic pollutants, advanced treatment technologies are needed to completely remove some pollutants and reuse treated water. However, these activities affect the environmental sustainability of existing facilities due to additional resource consumption (water, electricity, chemicals, etc.). Impact categories such as global warming potential, embedded energy and eutrophication potential are among the main environmental sustainability impact categories of wastewater management and resource recovery strategies. In this study, the carbon footprint of a biological wastewater treatment plant was determined with a life cycle approach and comparative evaluations were made by creating advanced treatment scenarios. Three scenarios were developed for the evaluation of advanced treatment alternatives: (S1) Nanofiltration + UVC, (S2) Sand filtration + UVC, and (S3) Ozonation. Carbon footprint is an indicator of global warming potential (GWP) in life cycle assessment. SimaPro 9.6 software and “IPCC 2021 GWP 100” impact assessment method were used in the study. According to the results of the impact assessment, the global warming potential (GWP) resulting from the treatment of 1 m³ wastewater in the biological wastewater treatment plant for the current situation was determined as 0.54 kg CO₂ equivalent. The global warming potentials for S1, S2, and S3 were found to be 1.09 kg CO₂-eq., 0.48 kg CO₂-eq., and 0.39 kg CO₂-eq., respectively. The present study contributes to the identification of the most suitable advanced treatment alternatives in terms of sustainability in biological wastewater treatment plants. The detailed analysis of the environmental performance provides important data for the future development of treatment technologies with lower environmental impact. Furthermore, such analyses can help shape water management policies and implement new technologies that minimize environmental impacts. This study contributes to the identification of the most suitable advanced treatment alternatives in terms of sustainability in biological wastewater treatment plants.

Keywords: Wastewater treatment plant, carbon footprint, advanced treatment, life cycle assessment

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF PLGA NANOPARTICLES TARGETING GLUTAMINE METABOLISM IN TRIPLE-NEGATIVE BREAST CANCER

CANSU TATAR

Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik
cansu.tatar@std.yildiz.edu.tr

Assoc. Prof. Dr. AYŞEGÜL ERDEMİR

Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik
aerdemir@yildiz.edu.tr

Abstract

Cancer cells reprogram their metabolic pathways to support rapid growth and proliferation. The most important metabolic alterations include glucose and glutamine metabolism, crucial for energy production and biosynthesis. Glutamine acts as a source of nitrogen and carbon in biosynthetic processes, including nucleotide and amino acid synthesis. Consequently, several cancer cells depend on exogenous glutamine to sustain their proliferation capabilities. Triple-negative breast cancer cells (TNBC) require exogenous glutamine for proliferation compared to other breast cancer subtypes. Therefore, glutamine dependence is targeted in the therapy of TNBC that lacks estrogen receptors, progesterone receptors, and HER2 gene expression. 6-diazo-5-oxo-L-norleucine (DON) is a glutamine antagonist that inhibits glutamine-utilizing enzymes by binding to their active sites. It was previously used in cancer therapy to target glutamine metabolism; nonetheless, it has been unsuccessful in clinical settings due to adverse effects, including gastrointestinal cytotoxicity and insufficient selectivity at the target site. In this study, DON-loaded PLGA nanoparticles were synthesized to overcome these problems. The W/O/W double emulsion solvent evaporation technique synthesized DON-loaded PLGAs. The zeta potential, size, and polydispersity index (PDI) values of the synthesized nanoparticles were measured in a Zetasizer Nano ZS device. The functional groups of the nanoparticles were analyzed by Fourier-transform infrared (FT-IR) spectroscopy. Several synthesis parameters, including distinct surfactant types, sonication duration, and PLGA solvents, were used. The nanoparticle with optimum properties had an average size of 193.6 ± 8.7 nm, with a PDI value of 0.072 ± 0.007 and a zeta potential of -21.8 ± 0.93 mV. The encapsulation efficiency was 37%, the drug loading was 2.05%, and the reaction yield was 85%. In this study, various synthesis parameters were used. The successful synthesis, optimization, and physicochemical characterization of DON-loaded PLGA nanoparticles were achieved. In future studies, these nanoparticles will be decorated with mannose to selectively target TNBC.

Keywords: Triple-negative breast cancer, PLGA nanoparticle, optimization, 6-diazo-5-oxo-L-norleucine (DON)

TOPOLOGY OPTIMISATION-BASED DESIGN IMPROVEMENT OF THE CONNECTING BRACKET USED IN THE DOUBLE FRONT AXLE STEERING SYSTEM OF AN 8X4 TRUCK

Muhammed Yusuf Eloğlu

Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği
muhammedyusuf.eloglu@ogr.deu.edu.tr

Eren Altınay

Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği
eren.altinay@ogr.deu.edu.tr

Kübra Polat

Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği
k.polat@ogr.deu.edu.tr

Engineer Ufuk Çoban

BMC Otomotiv ve Sanayi Ticaret A.Ş., Ticari Taşıtlar Birimi, Ar-Ge Bölümü
ufuk.coban@bmc.com.tr

Assoc. Prof. Dr. Mehmet Murat Topaç

Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği
murat.topac@deu.edu.tr

Abstract

In commercial vehicles, the length of the chassis and the number of carrier axles can be increased in order to achieve high load carrying capacity. However, such structural changes may negatively affect the manoeuvrability of the vehicle. As a solution to this problem, increasing the number of steered axles is a commonly used method. In this study, the conceptual design of the connection bracket used in the steering system of an 8x4 truck has been performed. For this purpose, a simplified physical model of the vehicle's steering system has been created. Using this model, a mathematical model of the system was developed in MATLAB® application. With the help of this model, the reaction forces at the support points of the components of the system were calculated for the steering range of the Pitman arm. Then, the solid model of the steering mechanism was transferred to the ANSYS Workbench® software and the kinetic analysis of the system was performed for different steering angles of the Pitman arm. The force values obtained by both analysis methods were compared and it was seen that the error rate between the models did not exceed 2.5%. In the second stage of the study, the force variation on the bracket–chassis connection bearing were analysed. Based on the maximum force value taken from the physical model, the stress values on the reference part were evaluated by Finite Element Analysis (FEA). As a result of the analysis, critical stress-concentrated regions were determined. Then, topology optimisation was performed on the new preliminary design using the same boundary conditions. According to the optimisation results, a new design was developed in which the stress values were reduced by 34% and the total mass was reduced by approximately 41%.

Keywords: Double front axle steering system, Topology optimisation, Finite Element Analysis, Mechanical Design

MASS OPTIMISATION OF THE PISTON ENGINE CONNECTING ROD USING THE DESIGN OF EXPERIMENTS METHOD

Eren Altınay

Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği
eren.altinay@ogr.deu.edu.tr

Kübra Polat

Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği
kubra.polat@ogr.deu.edu.tr

Assoc. Prof. Dr. Mehmet Murat Topaç

Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği
murat.topac@deu.edu.tr

Abstract

In today's automotive industry, requirements such as optimum performance and durability come to the fore. On the other hand, these requirements bring along environmental concerns such as reducing energy consumption, using resources efficiently and reducing carbon footprint in line with sustainability goals. Within this scope, design optimisation studies to be carried out for mass reduction make it possible to utilize the material more appropriately as well as the best performance of the part to be manufactured. In this study, the structural analysis of the connecting rod mechanism of a piston engine in use is carried out using Finite Element Analysis (FEA) and the mass optimization of the connecting rod is performed. For this purpose, firstly, a solid model of the connecting rod was composed. Then, structural analysis of the part was performed for different loading conditions. As a result of the analysis, stress concentrated regions were identified on the part. Parametric modelling of the part including these regions was performed. In the second stage of the study, an Design of Experiments (DoE) study was carried out on the parametric model and the part was optimised using the Response Surface Methodology (RSM). As a result of the optimisation, it was seen that a mass reduction of 4.5% can be achieved without a significant stress increase on the part and while keeping the buckling strength.

Keywords: Piston engine design, Connecting rod, Finite Element Analysis, Design of Experiments (DoE), Mass Optimisation, Mechanical design

GENETIC STRUCTURING AND POPULATION DIVERGENCE OF PHOXINUS STRANDJAE IN THE SAPANCA BASIN (NW TÜRKİYE)

ELİF KOÇASLAN

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yaban Hayatı ve Ekolojisi Anabilim
Dalı
elif.kcsln62@gmail.com

Assoc. Prof. Dr. SEVAN AĞDAMAR

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Bayramiç Meslek Yüksekokulu, Ormancılık ve Orman Ürünleri
sevanagdamar@comu.edu.tr

Assoc. Prof. Dr. ÖZCAN GAYGUSUZ

İstanbul Üniversitesi, Su Bilimleri Fakültesi, Deniz ve İçsu Kaynakları Yönetimi
ozcan.gaygusuz@istanbul.edu.tr

Abstract

This study aims to investigate the genetic structure of the Bulgarian minnow *Phoxinus phoxinus*, a species inhabiting the Sapanca Basin in northwestern Türkiye, and to enhance both national biodiversity records and the broader scientific knowledge base by submitting the resulting genetic data to GenBank. A total of 163 specimens representing 11 distinct populations were sampled from four locations within the lotic systems of the basin using a SAMUS-725G electrofishing gear between September 2023 and July 2024. Dorsal fin tissues were excised under laboratory conditions to obtain material for DNA extraction, which was carried out using the Qiagen DNeasy Blood & Tissue Kit in accordance with the manufacturer's instructions. To evaluate genetic variation among populations, the mitochondrial cytochrome oxidase I (COI) region was analyzed. Phylogenetic analyses were conducted using MEGA X, DnaSP 6, and Arlequin 3.5.2.2. Nine mitochondrial haplotypes were identified in 11 *Phoxinus* populations that were collected from Sapanca Basin and high genetic variation ($h=0,925$, $\pi=0,007$) was observed. The findings of this research offer essential insights into the genetic diversity, population structure, and evolutionary dynamics of *P. phoxinus* in the region. Furthermore, based on the genetic parameters obtained and the resulting phylogenetic tree, it is suggested that hydraulic barriers in the Sapanca Basin may have led to population-level genetic differentiation between certain upstream and downstream groups.

Keywords: Bulgarian minnow, genetic variation, mitochondrial DNA, freshwater fish, hydraulic barriers

Acknowledgement: The present study is based on the MSc thesis conducted by Elif Koçaslan. This study was also supported by the TÜBİTAK-1001 (Project No: 122Y318).

A NUMERICAL STUDY ON THE EFFECT OF SUSPENSION MOTION RATIO ON THE ROLL BEHAVIOR OF A SPECIAL-PURPOSE SINGLE-SEATER VEHICLE WITH INDEPENDENT SUSPENSION

Sefa Temur

Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konstrüksiyon ve İmalat Yüksek Lisans
sefa.temur@ogr.deu.edu.tr

Assoc. Prof. Dr. Mehmet Murat Topaç

Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği
murat.topac@deu.edu.tr

Tibet Arbak

Tibet Makine Sanayi ve Ticaret A.Ş., Yönetim Birimi, Mühendislik
tibet@tibetarbak.com

Mert Eron

Robomaker Mühendislik, Yönetim Birimi, Mühendislik
merteron@robomaker.com.tr

Abstract

In this study, the effect of suspension motion ratio on the roll behaviour of a single-seater vehicle with four-wheel independent suspension is numerically investigated. For this purpose, firstly, a full vehicle model consisting of suspension and steering system, chassis, wheels and driver is created using MSC Adams® software, which is based on Multi-Body Dynamics (MBD). Within the scope of the study, full vehicle models with two different suspension motion ratios selected by considering the design constraints were simulated. The parameters of the spring and shock absorber were kept constant, only the motion ratio was changed and the effects of this on the roll behaviour of the vehicle were investigated. During the simulations, the vehicle performed a constant radius cornering manoeuvre, a double lane change manoeuvre in accordance with ISO 3881 - 1 and a constant speed manoeuvre on a road prepared according to AVTP 03 – 170 military test standard. Based on the simulations, the effects of the suspension motion ratio on the roll angle of the vehicle were evaluated.

Keywords: Independent suspension, Suspension motion ratio, Roll Angle, Multi Body Systems (MBS)

DYNAMIC PRICING WITH FUZZY LOGIC IN AIRLINE PASSENGER TRANSPORTATION

EREN İSMAİL DOĞAN

Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilişim Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı
eren.ismail.dogan@gmail.com

Prof. Dr. MEHMET YILDIRIM

Kocaeli Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Bilişim Sistemleri Mühendisliği
myildirim@kocaeli.edu.tr

Abstract

In this study, a fuzzy logic dynamic ticket pricing system that can be used in airline passenger transportation is proposed. Dynamic pricing systems are one of the strategies that enable airline companies to implement effective revenue management applications. Dynamic pricing and artificial intelligence applications in airline transportation make significant contributions to increasing competition in the sector and ensuring customer satisfaction. These strategies both increase the operational efficiency of airline companies and offer opportunities for passengers to purchase tickets at more affordable prices. In the literature, it is seen that techniques such as machine learning and deep learning are used for dynamic pricing among artificial intelligence methods. The intensive data requirement of these methods and the need for separate training for each flight become a difficult problem to cope with. Therefore, in this study, it is thought that fuzzy logic systems that need much less data and have more rule-based decision-making ability will be more useful in dynamic pricing. For this purpose, a fuzzy logic dynamic ticket pricing system that can be used in airline passenger transportation is tried to be introduced in the study.

Keywords: Fuzzy logic, Dynamic pricing, Airline passenger transportation, Airline ticket pricing

ASSESSING THE IMPACT OF GEOMETRIC FACTORS ON LEAKAGE REACTANCE IN TRANSFORMERS

MUHAMMED ALPEREN ÇAKIR

Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü/ Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği
225102093@kocaeli.edu.tr

Assist. Prof. Dr. Esra Kandemir Beşer

Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği
esrakandemir@kocaeli.edu.tr

Abstract

Leakage reactance is a crucial parameter in transformer design, significantly influencing efficiency and power transmission capacity. This study delves into the factors affecting leakage reactance, which directly impacts transformer performance. To investigate this, key geometric parameters were systematically varied, and the leakage reactance was calculated using the Finite Element Method (FEM). Each parameter was adjusted at specific intervals to assess its effect on leakage reactance. The results reveal how changes in transformer geometry impact leakage reactance, offering valuable insights for transformer designers. By understanding the relationship between geometric variations and leakage reactance, designers can make informed decisions to enhance transformer efficiency. This research contributes to the body of knowledge on transformer design, highlighting the importance of geometric parameters in optimizing leakage reactance and overall transformer performance.

Keywords: Finite element method, leakage reactance, transformer

MODELING FINANCIAL MARKETS FROM A KINETIC THEORY PERSPECTIVE: VOLATILITY ANALYSIS WITH MAXWELL-BOLTZMANN DISTRIBUTION

AHMET BORA ACARTÜRK

Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Edebiyat, Fizik
bora.acarturk@hotmail.com

Assoc. Prof. Dr. CENK DENKTAŞ

Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Edebiyat, Fizik
denktas2010@gmail.com

Abstract

In this study, the principles of classical kinetic theory used in statistical physics to analyze the random motion of gas molecules are adapted by analogy to analyze price movements in financial markets. The Maxwell-Boltzmann (MB) distribution, which describes the velocity distribution of gas molecules in physics, is used to understand the general structure of price changes in financial markets and to identify crisis periods. Accordingly, in the analogy between the basic principles of molecular motions and financial price movements, market returns are likened to the random velocity changes of molecules. As a result of this simulation, the volatility of financial markets is conceptually related to the kinetic temperature of physical systems. Using the daily closing prices of the Borsa Istanbul 100 (BIST-100) index between 2005 and 2024, the daily price changes in financial markets are evaluated through logarithmic returns. The magnitudes of these returns are interpreted as indicators of the general mobility and uncertainty in the market, analogous to the velocity magnitudes of gas molecules. In order to realize the kinetic analogy of financial markets, temporal sampling blocks covering certain time intervals and continuously shifted forward are constructed. These samples made it possible to reflect the short-term volatility levels of the market in a time-sensitive manner. The calculations revealed that the level of uncertainty and volatility in the markets increased significantly, especially during periods of financial crisis (such as the 2008 Global Crisis, the 2018 Currency Crisis and the 2020 COVID-19 pandemic). The difference in volatility between crisis and non-crisis periods is also confirmed by statistical analyses. These analyses show that the parameter we call “temperature” in physical terms increases significantly during crisis periods and that crises are characterized by this “warming”. As a result, it is revealed that the principles of kinetic theory can be successfully applied to financial markets and provide an effective tool for identifying financial volatility and crisis periods. This study opens new perspectives in financial risk management and crisis forecasting based on kinetic theory and offers extensive possibilities for future research.

Keywords: Kinetic theory, Maxwell-Boltzmann distribution, financial physics, volatility analysis, econophysics, market temperature, financial volatility

**EFFECTS OF E VITAMIN (α -TOCOPHEROL) ON HYPERGLYCEMIA-INDUCED
CELLULAR DYSFUNCTION AND WOUND REPAIR: AN IN VITRO STUDY****FATIMA GULIYEVA**Gazi Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Tıbbi Biyokimya
*islamgulyev@yahoo.com***Lecturer Ömer Faruk KIRLANGIÇ**Ankara Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Laboratuvar Teknikleri
*omerfarukkrlangc@gmail.com***Assist. Prof. Dr. Kıvanç Emre DAVUN**Üsküdar Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Plastik, Rekonstrüktif ve Estetik Cerrahi Anabilim Dalı
*kivancemre.davun@uskudar.edu.tr***Prof. Dr. Cengiz KARAKAYA**Gazi Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Tıbbi Biyokimya
*karakayacg@gmail.com***Abstract**

Chronic hyperglycemia leads to pathophysiological alterations such as oxidative stress and cellular dysfunction, which significantly impair wound healing in skin tissue. In diabetic patients, this delayed wound repair process adversely affects quality of life. Vitamin E (α -tocopherol), a well-known antioxidant, has the potential to support cellular functions by protecting cell membranes against free radical-induced damage. This study aimed to investigate the proliferative and wound healing effects of α -tocopherol in human dermal fibroblast (HDF) cells under hyperglycemic conditions. A hyperglycemic stress model was established by incubating HDF cells in medium containing 25 mM glucose for 4 hours. Subsequently, α -tocopherol was administered at concentrations of 25, 50 and 100 μ M. Cell viability was assessed using the MTT assay after 24 and 48 hours of incubation. An in vitro scratch assay was performed to evaluate wound healing capacity, and cell migration was monitored microscopically at 0, 24, and 48 hours. High glucose exposure significantly reduced both cell viability and wound closure ($p<0.05$). Treatment with α -tocopherol ameliorated these adverse effects in a dose- and time-dependent manner ($p<0.05$). According to the scratch assay results, wound closure was completely halted at 48 hours in the high glucose group, whereas α -tocopherol treatment led to a marked, dose- and time-dependent increase in wound healing. These findings suggest that α -tocopherol may support wound repair by alleviating cellular dysfunction induced by hyperglycemia in HDF cells. α -Tocopherol may be considered a potential therapeutic adjuvant in the management of hyperglycemia-related impaired wound healing. However, further advanced molecular studies are warranted to better understand the mechanisms of action of α -tocopherol in HDF cells and to evaluate its clinical applicability.

Keywords: Hyperglycemia, Dermal Fibroblast, α -Tocopherol, Wound Healing

PERFORMANCE EVALUATION OF A PV SYSTEM WITH POLY-CRYSTALLINE SI MODULE TECHNOLOGY ESTABLISHED IN THE CENTER OF BATMAN PROVINCE FOR THE PERIOD 2014-2024

Emre Gökteş

Batman Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yenilenebilir Enerji Sistemleri Anabilim Dalı
emre.goktass.45@gmail.com

Prof. Dr. Osman Pakma

Batman Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik
osman.pakma@batman.edu.tr

Abstract

This study aims to evaluate the performance of a 2,145 kWp photovoltaic (PV) system consisting of polycrystalline Si modules installed in the center of Batman province by comparing the total monthly power generated between 2014 and 2024. During the 11-year period, instantaneous horizontal solar irradiance and ambient temperature values for Batman Province were measured using a pyranometer and temperature sensor. These measured values and the system's technical specifications were used to calculate annual power production using computer simulation software. The calculated values were compared with the total energy production values of the installed system. As a result, performance analyses were interpreted by considering the losses of the PV system composed of polycrystalline-Si modules between 2014 and 2024.

Keywords: Photovoltaic, Silicium, Energy

DEVELOPMENT OF A COLLISION DETECTION AND HIGH VOLTAGE CUT-OFF SYSTEM THROUGH 6-AXIS IMU SENSOR INTEGRATION IN COMMERCIAL AND ELECTRIC VEHICLES

Engineer Şamil Aslankaya

Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği
samil.aslankaya@isuzu.com.tr

Engineer Samet Sülün

Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği
samet.sulun@isuzu.com.tr

Engineer Ali Cemal Demirci

Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği
ali.demirci@isuzu.com.tr

Engineer Hüseyin Can Şenkal

Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği
huseyincan.senkal@isuzu.com.tr

Abstract

In next-generation vehicles, safety systems play a vital role in ensuring sustainable safety solutions within the automotive industry, and this importance becomes even more critical with the increasing prevalence of electric vehicles. This study focuses on the integration of a 6-axis (6D IMU) accelerometer and gyroscope sensor into vehicle safety systems, specifically designed for use in commercial vehicles. The sensor has the capability to accurately measure dynamic parameters such as inclination, acceleration, and angular velocity of the vehicle. The data obtained from the sensor is transmitted and analyzed in real time via the CAN-Bus communication protocol to the vehicle's control units. Three main scenarios are examined within the scope of the study. In the first scenario, the risk of a vehicle rolling backward is detected instantly using the gyro sensor, enabling both visual and auditory alerts to the driver and, if necessary, the activation of the braking system. In the second scenario, when a parked vehicle experiences external interference such as towing or impact, the movement detection system triggers an early warning to inform the driver. The third scenario investigates the automatic disconnection of high-voltage battery systems in electric vehicles during a crash. A safety mechanism is developed to cut off the high-voltage system when predefined G-force thresholds are exceeded. The integration of sensor technology into safety systems is aimed at effectively addressing critical safety issues, particularly in industrial and electric vehicles. Through sensor data, faster and more effective responses during accidents or abnormal movements are made possible, significantly enhancing vehicle safety. This study proposes innovative approaches to vehicle safety technologies, aiming to elevate the overall level of safety while also providing real-time feedback to drivers, thus increasing their awareness and situational understanding.

Keywords: Gyro Sensor, Vehicle Safety, Commercial Vehicles, Collision Prevention, CAN-Bus

DETERMINATION OF SUITABLE MEDIUM FOR TISSUE CULTURE STUDIES ON CENTAUREA KILAEA

Ayşe Rumeysa Özbey

Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji
rumesaaaazbeyy@gmail.com

Beril Yeşilova

Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji
berilyesilovaaa@gmail.com

Ece Gün Polat

Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji
ece121415@hotmail.com

Assoc. Prof. Dr. Arda Acemi

Kocaeli Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji
arda.acemi@kocaeli.edu.tr

Abstract

Centaurea kilaea Boiss., belonging to the Asteraceae family, is an endemic plant species naturally found along the coastal dunes located north west of Türkiye. It can be observed at altitudes up to 10 meters above sea level, particularly in the Kandıra district of Kocaeli province. The Red Data Book of Turkish Plants lists the species as endangered, and human activities and tourism have increasingly threatened its natural habitat in recent years. Therefore, plant tissue culture (PTC) techniques should be implemented to enhance its population and mitigate these threats. The selection of an appropriate culture medium is crucial for the success of such applications. In this preliminary study, we tested the effects of three commonly used PTC media —De Greef & Jacobs (DG), Schenk & Hildebrandt (SH), and Knudson C (KC)— on seed germination and organ development in *C. kilaea*. Following seed surface sterilization, five seeds were sown in each medium and incubated for 30 days. Germination rates were 8.00% in the DG medium and 26.67% in the SH medium, while no germination was observed in the KC medium. In the SH medium, higher leaf and root numbers per plant were found compared to the DG medium. The DG medium did not support root elongation. In conclusion, our study highlights the experimental success of SH medium among the tested formulations and the importance of selecting an appropriate medium for PTC applications. Further optimization studies are needed to establish the most suitable culture medium formulation. Among the media tested, SH medium can be recommended for future in vitro propagation studies on *Centaurea kilaea*.

Keywords: Biodiversity, Culture medium, *Centaurea kilaea*, Plant tissue culture

PRODUCTION AND CHARACTERIZATION OF POLY(VINYL ALCOHOL) COMPOSITE NANOFIBERS WITH TETRA-N-BUTYL AMMONIUM HYDROGEN SULFATE AND TETRA PROPYL AMMONIUM CHLORIDE HYBRID ADDITIVES

Elif Şeker

Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli Meslek Yüksekokulu, Kimya Ve Kimya İşleme Teknolojileri Bölümü
elifseker.7441@gmail.com

Sena Özdiş Şener

Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyomedikal Mühendisliği
senaozdil@gmail.com

Ezgi Özdemir

Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Polimer Bilimi ve Teknolojisi
ezgi.ozdemir.31@gmail.com

Tahsin Ertaş

Adıyaman Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Biyofizik Bölümü, Türkiye
ertastahsin@gmail.com

Assoc. Prof. Dr. Merve Dandan Doğanç

Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Polimer Bilimi ve Teknolojisi
merve.doganci@kocaeli.edu.tr

Prof. Dr. Erdinç Doğanç

Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Polimer Bilimi ve Teknolojisi
edoganci@kocaeli.edu.tr

Abstract

In this study, composite nanofibers were fabricated using biocompatible poly(vinyl alcohol) (PVA) and quaternary ammonium salts, specifically tetra-n-butylammonium hydrogen sulfate (HS) and tetrapropylammonium chloride (TCL). The nanofibers, produced via electrospinning, offer advantages such as low cost, high surface area, and controllable fiber morphology. The primary objective of the study is to investigate the effects of TCL and HS salts on the structural and functional properties of PVA, and to evaluate the physical and chemical characteristics of the resulting nanofibers. These additives not only enhance ionic conductivity but also impart antimicrobial and cytocompatible properties, thereby generating biofunctional materials with potential to support wound healing. The integration of TCL and HS with PVA represents a novel approach that has not yet been explored in the literature, aiming to provide original contributions to the field of biomaterials. PVA, being water-soluble and biodegradable, serves as a suitable carrier matrix for controlled-release systems such as fertilizers, pesticides, and herbicides. The uniform distribution of salts within the polymer matrix plays a critical role in preserving the morphological integrity of the nanofibers by influencing key parameters like solution conductivity and surface tension. The structural, chemical, and thermal properties of the nanofibers were characterized using Scanning Electron Microscopy (SEM), Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), Differential Scanning Calorimetry (DSC), and Thermogravimetric Analysis (TGA). Compared to the control sample, nanofibers containing 1% TCL exhibited a reduction in bead formation. However, increased bead formation was observed at TCL concentrations of 3% and 5%, while the 7% TCL sample demonstrated significant morphological deterioration, including excessive beading. These findings suggest that low concentrations of TCL positively influence fiber formation, whereas higher concentrations negatively affect structural integrity. In

conclusion, this study demonstrated that composite nanofibers composed of PVA and quaternary ammonium salts can be successfully fabricated with antibacterial activity and high fluid retention capacity, making them promising candidates for dermal wound dressing applications. The results are expected to contribute to the advancement of wound healing technologies and inspire future developments in biomedical material design. Acknowledgment: This study was supported by “TÜBİTAK 2209-A University Students Research Projects Support Program” under Application No. 1919B012409486.

Keywords: Tetra-n-butylammonium hydrogen sulfate, Tetrapropyl ammonium chloride, Poly(vinyl alcohol), Electrospinning, Hybrid, Wound dressing

PRODUCTION AND CHARACTERIZATION OF PCL/COLLAGEN NANOFIBERS CONTAINING PLANT OILS BY ELECTROSPINNING

İREM KARAYAĞIZ

Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli MYO, Kimya ve Kimyasal İşleme Teknolojisi
kryz.irem@gmail.com

Ezgi Özdemir

Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Polimer Bilimi ve Teknolojisi
ezgi.ozdemir.31@gmail.com

Tahsin Ertaş

Adıyaman Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Biyofizik Bölümü, Türkiye
ertastahsin@gmail.com

Assoc. Prof. Dr. Merve Dandan Doğanç

Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Polimer Bilimi ve Teknolojisi
merve.doganci@kocaeli.edu.tr

Prof. Dr. Erdinç Doğanç

Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Polimer Bilimi ve Teknolojisi
edoganci@kocaeli.edu.tr

Abstract

Treating burn wounds is a highly complex and delicate process involving managing infection risk, pain control, and tissue regeneration. Reducing the use of antibiotics in burn care is crucial to minimize infection risks and combat the growing threat of antibiotic resistance. The widespread use of antibiotic-based therapies today poses the risk of diminished effectiveness due to increasing resistance, highlighting the need for alternative, natural, and biocompatible solutions. This project aims to develop nanofiber wound dressings composed of poly(ϵ -caprolactone) (PCL) and collagen via electrospinning, and to functionalize these dressings with essential oils derived from sage (*Salvia officinalis*) and thyme (*Thymus vulgaris*). Sage oil contributes to tissue regeneration through its antioxidant and anti-inflammatory properties, while thyme oil exhibits potent antibacterial activity due to its thymol and carvacrol constituents. The synergistic effects of these essential oils are expected to prevent infections, reduce inflammation, and accelerate the healing process. This study evaluated the surface morphology, mechanical strength, biodegradability, and cellular biocompatibility of the produced nanofiber dressings. The goal is to develop a wound treatment material that is both safe and effective. Scanning Electron Microscopy (SEM) analysis of the nanofibers revealed a reduction in pilling and slight fiber adhesion in samples containing 3% sage oil. In samples with 5% sage oil, pilling was further reduced, and the fiber structures appeared more uniform and homogeneous. These results indicate an improvement in fiber morphology with increasing concentrations of sage oil.

Keywords: Burn wounds, PCL, collagen, sage oil, thyme oil, nanofiber wound dressing

Acknowledgements: This study is supported by the “TÜBİTAK 2209-A University Students Research Projects Support Program” with Application No. 1919B012462204.

INVESTIGATION OF THE PERFORMANCE OF BORON NITRATE-DOPED POLYSULFONE-BASED COMPOSITE MEMBRANES IN DIRECT BOROHYDRIDE FUEL CELLS

SUDE AKARSLAN

Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli Meslek Yüksekokulu, Kimya Ve Kimyasal İşleme Teknolojileri
sudeakarslann@gmail.com

EMRE AYDIN

Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Polimer Bilimi ve Teknolojisi
Shakespeareaq@gmail.com

Assoc. Prof. Dr. MERVE DANDAN DOĞANCI

Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Polimer Bilimi ve Teknolojisi
merve.doganci@kocaeli.edu.tr

Prof. Dr. ERDİNÇ DOĞANCI

Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Polimer Bilimi ve Teknolojisi
edoganci@kocaeli.edu.tr

Prof. Dr. CENK ÇELİK

Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği
cenkcelik@kocaeli.edu.tr

Abstract

The growing global demand for energy, coupled with escalating environmental concerns, has accelerated the pursuit of sustainable and clean energy solutions. Among these, direct borohydride fuel cells (DBFCs) have emerged as promising energy sources due to their high energy density and environmentally friendly attributes. However, the overall performance and commercial viability of DBFCs are heavily influenced by the properties of the membranes employed. Nafion membranes, which are commonly used in DBFCs, present several limitations, including high cost, limited chemical stability, and significant fuel permeability. Consequently, the development of alternative membrane materials has become increasingly critical. This study explores the effect of boron nitride (BN)-doped polysulfone (PSF)-based composite membranes on DBFC performance. PSF/BN membranes are proposed as a cost-effective alternative to Nafion, offering enhanced mechanical and thermal stability, while mitigating issues such as fuel permeability and chemical degradation. As part of the research, PSF/BN composite membranes incorporating 2%, 4%, and 6% BN by weight will be fabricated via the casting method. To date, membranes with 2% and 4% BN content have been successfully produced, exhibiting a homogeneous structure. The membranes will be characterized using Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), Thermogravimetric Analysis (TGA), Differential Scanning Calorimetry (DSC), Scanning Electron Microscopy (SEM), and tensile strength testing. Furthermore, key electrochemical properties—such as water uptake, ionic conductivity, and borohydride permeability—will be evaluated. Through these analyses, the potential of PSF/BN membranes for efficient and cost-effective use in DBFC applications will be assessed in comparison to Nafion. The findings of this study are expected to contribute both scientifically and practically to the development of advanced fuel cell membrane technologies, with broader implications for the field of sustainable energy.

Keywords: Direct Borohydride Fuel Cell, Polysulfone, Boron Nitrate, Composite Membrane, Alternative Energy Technologies

Acknowledgements: This study is supported by the 'TÜBİTAK 2209-A Research Project Support Program for Undergraduate Students' under the application number 1919B012416105.

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF BORON NITRATE-DOPED PEEK MEMBRANE ON DIRECT BOROHYDRIDE FUEL CELL PERFORMANCE

ZEHRA KOÇAK

Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli Meslek Yüksekokulu, Kimya Ve Kimya İşleme Teknolojileri Bölümü
zehraa9955@gmail.com

EMRE AYDIN

Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Polimer Bilimi ve Teknolojisi
Shakespeareaq@gmail.com

Assoc. Prof. Dr. MERVE DANDAN DOĞANCI

Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Polimer Bilimi ve Teknolojisi
merve.doganci@kocaeli.edu.tr

Prof. Dr. ERDİNÇ DOĞANCI

Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Polimer Bilimi ve Teknolojisi
edoganci@kocaeli.edu.tr

Prof. Dr. CENK ÇELİK

Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği
cenkcelik@kocaeli.edu.tr

Abstract

The escalating global energy demand, in conjunction with intensifying environmental degradation, has catalyzed a growing emphasis on the development of clean and sustainable energy technologies. Within this framework, Direct Borohydride Fuel Cells (DBFCs) have garnered significant attention owing to their high theoretical energy density, operational efficiency, and environmentally benign characteristics. Despite these advantages, the practical performance and commercial scalability of DBFC systems remain critically dependent on the physicochemical properties of the membranes employed. Nafion, a perfluorosulfonic acid-based membrane, remains the industry standard; however, its widespread implementation is hindered by several inherent limitations, including elevated cost, suboptimal chemical stability under alkaline conditions, and pronounced fuel crossover. These deficiencies underscore the urgent need for alternative membrane materials with enhanced functional performance and cost-efficiency. The present study explores the feasibility of employing boron nitride (BN)-reinforced polyether ether ketone (PEEK)-based composite membranes as a high-performance substitute for Nafion in DBFC applications. PEEK, a semi-crystalline thermoplastic polymer known for its exceptional chemical resistance and mechanical robustness, was sulfonated via treatment with methanesulfonic acid and sulfuric acid to introduce proton-conductive functional groups necessary for ionic transport. The incorporation of BN nanoparticles was investigated as a strategy to further augment the mechanical integrity, thermal stability, and electrochemical performance of the sulfonated PEEK matrix. The synthesized composite membranes were subjected to comprehensive physicochemical and electrochemical characterization using Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), Scanning Electron Microscopy (SEM), Thermogravimetric Analysis (TGA), Differential Scanning Calorimetry (DSC), and tensile testing. In addition, essential electrochemical metrics—including water uptake capacity, ionic conductivity, and borohydride permeability—were systematically evaluated to assess membrane suitability for DBFC operation. The findings of this investigation reveal that BN-reinforced sulfonated PEEK membranes exhibit promising structural and functional attributes, positioning them as viable and cost-effective alternatives to Nafion in next-generation DBFC systems. The results are anticipated to provide valuable insights into the rational design of high-performance membrane materials.

and to contribute meaningfully to the broader field of fuel cell research and sustainable energy technology development.

Keywords: Direct Borohydride Fuel Cells (DBFC), Polyether Ether Ketone (PEEK), Boron Nitride

Acknowledgements: This study is supported by the 'TÜBİTAK 2209-A Research Project Support Program for Undergraduate Students' under the application number 1919B012416105.

References:

1. Shaari, N., Wani, A. A., Kamarudin, S. K., Raduwan, N. F., Yusoff, Y. N., Ramli, Z. A. C., ... & Zaiman, N. F. H. N. (2024). Recent advances and fundamentals of polymer electrolyte membrane in direct borohydride fuel cell application: Effectiveness, reliability, degradation, and mitigation strategies. *International Journal of Hydrogen Energy*, 89, 190-214.
2. Berber, M. R., & Hafez, I. H. (2024). Boosting the proton conductivity, chemical stability, and fuel cell performance of nafion membrane at high operating temperatures and low humidity levels by incorporating phytic acid. *International Journal of Hydrogen Energy*, 57, 1126-1138.
3. Bassan, J. C., Upadhyay, P., Maheshwari, N., Sahoo, T. P., Kulshrestha, V., & Saravaia, H. T. (2024). Synthesis of potassium-zinc hexacyanoferrate and their SPEEK composite cation exchange membranes for selective recovery of cesium from aqueous system. *Chemical Engineering Journal*, 484, 149534.

MACROPOROUS FUNCTIONAL 3D CARBOXYMETHYL CELLULOSE COMPOSITE CRYOGELS

Soghra SALAMATI

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Polimer Bilim ve Teknolojisi AD
sograt.salamati@icloud.com

Assoc. Prof. Dr. Sultan BÜTÜN ŞENGEL

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü
sultanbutun.sengel@ogu.edu.tr

Abstract

Carboxymethyl cellulose (CMC) is a biodegradable, biocompatible, and water-soluble polysaccharide derived from renewable sources, offering a low-cost and environmentally friendly alternative to synthetic polymers. In this study, CMC based novel 3D macroporous cryogels were synthesized via condensation polymerization using epoxy cross-linker. To enhance functionality, carbon spheres (CS) were incorporated into the CMC cryogel (CMC-CS), and magnetic properties were introduced by in situ formation of $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Fe}_3\text{O}_4$. Furthermore, metal nanoparticle (CMC-M; M = Co, Ni, Cu, etc.) were prepared within the matrix to obtain composite cryogel. The structures were characterized by SEM, FT-IR, TGA, DLS, and zeta potential measurements. Owing to their high porosity, swelling capacity, and flexible architecture, these cryogels have been shown to have a strong application potential in adsorption, catalysis, separation, drug delivery and 3D cell culture applications.

Keywords: Carboxymethyl cellulose (CMC), cryogel, superporous composite, carbon spheres, magnetic composite cryogel, adsorbent, catalyst

BIOREMEDIATION OF CONTAMINATED SOILS: GREEN TECHNOLOGIES FOR SUSTAINABILITY

Prof. Dr. Lyudmyla Symochko

University of Coimbra, Faculty of Science and Technology, Life Sciences

lyudmilassem@gmail.com

Abstract

The widespread use of antibiotics in agriculture and medicine has led to the accumulation of these contaminants in soil ecosystems, posing risks to microbial biodiversity, food safety, and public health through the proliferation of antibiotic-resistant genes. Conventional methods for soil decontamination are often expensive, energy-intensive, or environmentally damaging. In contrast, bioremediation offers a sustainable and eco-friendly alternative by harnessing the natural metabolic capabilities of microorganisms to detoxify polluted environments. This study investigates the efficacy of microbial bioremediation for the degradation of antibiotics in soil using a tailored consortium of bacteria. Specifically, *Pseudomonas fluorescens* (6 million CFU/ml H₂O), *Azotobacter chroococcum* (3 million CFU/ml H₂O), and *Rhodococcus phenolicus* (3 million CFU/ml H₂O) were applied to 1 kg of contaminated soil using 100 ml of a water-based inoculum (designated PARC), over a 180-day experimental period. Initial soil contamination was recorded at 23,800 µg/kg of antibiotics. At the conclusion of the study, PARC-treated soil exhibited a significant reduction in antibiotic concentration to 12,300 µg/kg, compared to 21,600 µg/kg in the untreated control. These findings underscore the promise of bioremediation as a cost-effective, safe, and sustainable method for mitigating antibiotic contamination in soil. The use of specific microbial strains can significantly reduce pollutant loads, providing a scalable solution for environmental restoration and contributing to global sustainability goals.

Keywords: bioremediation, contamination, antibiotics, soil, microbiome, sustainability

**PREPARATION OF PHTHALOCYANINE (PC) INCLUSIONED ANTIBACTERIAL
POLYMERIC NANOCOMPOSITES****Assoc. Prof. Dr. Ömer GÜNGÖR**

Kocaeli Üniversitesi, Hereke Asım Kocabıyık MYO, Kimya ve Kimyasal İşleme Teknolojileri Bölümü
omer.gungor@kocaeli.edu.tr

Lecturer PhD. Ruhan ÖZEL

Kocaeli Üniversitesi, Hereke Asım Kocabıyık MYO, Kimya ve Kimyasal İşleme Teknolojileri Bölümü
ruhan.ozel@kocaeli.edu.tr

Assistant Arzu AYSAN

Gebze Teknik Üniversitesi, Temel Bilimler Fakültesi, Moleküllere Biyoloji ve Genetik
arzuaysan@gtu.edu.tr

PhD. Gamze ŞEKER

Gebze Teknik Üniversitesi, Temel Bilimler Fakültesi, Moleküllere Biyoloji ve Genetik
gseker@gtu.edu.tr

Ezgi Özdemir

Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli MYO, Kimya ve Kimyasal İşleme Teknolojileri Bölümü
ezgi@google.com

Assoc. Prof. Dr. Merve DANDAN DOĞANCI

Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli MYO, Kimya ve Kimyasal İşleme Teknolojileri Bölümü
merve.doganci@kocaeli.edu.tr

Prof. Dr. Erdinç DOĞANCI

Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli MYO, Kimya ve Kimyasal İşleme Teknolojileri Bölümü
edoganci@kocaeli.edu.tr

Abstract

Poly(lactic acid) (PLA); is an aliphatic polyester, usually obtained from lactic acid monomer, which can be produced from renewable resources such as corn, starch, sugar or other biomass. It is a biodegradable thermoplastic polyester with high potential due to its unique physical properties that make it useful in a variety of applications including surgical and medical applications, paper coating, fibers, films and packaging. Considering the increasing sustainability activities today, the use of environmentally friendly, biodegradable products using PLA instead of petroleum-derived materials is increasing. One of the main consumers of PLA is the packaging industry, especially the food packaging sector. Phthalocyanines (Pc) are macrocyclic molecules with high structural flexibility and are known as photosensitizers. In the presence of molecular oxygen, photoexcited Pc produces various amounts of singlet oxygen and other reactive oxygen species (ROS) depending on the light spectrum and illumination intensity. The production of ROS, which are strong oxidizing agents with cytotoxic effects, and the use of Pc in medicine and their usability as antimicrobials have been reported in the literature. In this study, PLA films were produced by solvent casting method using different Pc compounds at different concentrations. The structural characterization of the obtained Pc-doped PLA films was carried out by Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), thermal properties by differential scanning calorimetry (DSC) and thermal gravimetric analysis (TGA), mechanical properties by tensile test, and morphological analysis by scanning electron microscopy (SEM).

Their biological activities were examined against gram-negative and gram-positive bacteria, and cytotoxicity and cell viability were tested.

Keywords: Phthalocyanine, PLA, antimicrobial effect, polymer film

Acknowledgments: This study was supported by Kocaeli University Scientific Research Projects Coordination Unit within the scope of project numbered FKA-2024-3918.

DEVELOPMENT OF A TEST BENCH FOR ANALYZING FORCE TRANSFER FROM ATHLETE TO BLADE

MARIA INÊS PINHO DA CRUZ

University Coimbra, Faculty of Science and Technology of the University of Coimbra, Mechanical
Engineering

ines.p.cruz.98@gmail.com

Prof. Dr. Beatriz Gomes

University Coimbra, Faculty of Sports Science and Physical Education, Sports Science

beatrizgomes@fcdef.uc.pt

Prof. Dr. Ana M. Amaro

University Coimbra, Faculty of Science and Technology of the University of Coimbra, Mechanical
Engineering

ana.amaro@dem.uc.pt

Prof. Dr. Luis Roseiro

Coimbra Polytechnic- ISEC, Coimbra Institute of Engineering, Mechanical Engineering

lroseiro@isec.pt

Abstract

This work presents the conceptual development of a test bench designed to enable the indirect estimation of paddle blade forces using only strain measurements taken near the athlete's hands. The main goal is to train a neural network capable of predicting blade reaction forces based on shaft strain data, without requiring direct instrumentation on the blade. The test bench enables controlled static loading and the simultaneous acquisition of three variables: hand-applied force, shaft deformation, and blade reaction force. The paddle shaft is equipped with sixteen strain gauges arranged in pairs at 0°, 45°, 90°, and 180° (eight around each hand zone) to capture the local strain response. A calibrated load cell applies a known force at the bottom hand, while the top hand is simulated by a free-rotating bearing that provides support without transmitting load. At the blade end, a rigid base with eight load cells measures reaction forces along three orthogonal axes. The collected data will serve as training input for a neural network capable of estimating full three-dimensional blade loading from shaft strain alone. This approach lays the foundation for a minimally invasive, real-time monitoring system for biomechanical analysis in paddling sports, without compromising paddle structure or hydrodynamics.

Keywords: Paddle biomechanics, Strain gauges, Force estimation, Neural network, Instrumented shaft

A NOVEL BODIPY-MODIFIED CALIXARENE AS A SELECTIVE FLUORESCENT SENSOR FOR TRANSITION AND HEAVY METAL IONS

Assoc. Prof. Dr. Ömer GÜNGÖR

Kocaeli Üniversitesi, Hereke asım kocabıyık MYO, Kimya ve Kimyasal İşleme Teknolojileri
omer.gungor@kocaeli.edu.tr

Lecturer PhD. Neşe Taşcı

Gebze Teknik Üniversitesi, Temel Bilimler Fakültesi, Kimya
nesetasci@gtu.edu.tr

AYÇA ŞEYMA ÜNALDI

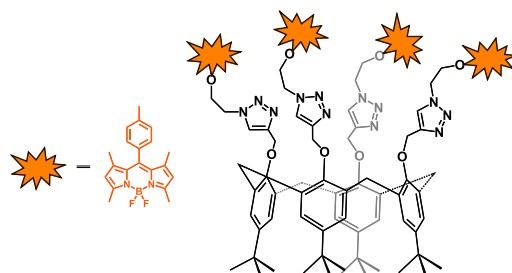
Kocaeli Üniversitesi, Temel Bilimler Fakültesi, Kimya
a.unaldi2023@gtu.edu.tr

Prof. Dr. Mahmut Durmuş

Gebze Teknik Üniversitesi, Temel Bilimler Fakültesi, Kimya
durmus@gtu.edu.tr

Abstract

Heavy and transition metal ions play dual roles in both biological systems and environmental processes, often acting as essential cofactors or, conversely, as toxic pollutants. Lead (Pb^{2+}), mercury (Hg^{2+}), and cadmium (Cd^{2+}) are well-known for their severe toxicity, while zinc (Zn^{2+}), copper (Cu^{2+}), and nickel (Ni^{2+}), though biologically important in trace amounts, can become hazardous when accumulated in excess. Therefore, the rapid, selective, and sensitive detection of these metal ions is of critical importance for environmental monitoring and public health. In recent years, fluorescence-based chemosensors have emerged as powerful analytical tools, owing to their high sensitivity, fast response times, and capability for visual signal output. Among these, calixarenes—macrocyclic compounds with a tunable cavity—have attracted significant attention as versatile platforms for metal ion sensing. Their ability to be functionally modified allows for enhanced selectivity and makes them promising candidates for the targeted detection of specific metal ions in complex matrices. In this study, a BODIPY-derived calixarene compound was synthesized and its sensing properties toward various metal ions were investigated. The structure of the synthesized compound was elucidated using standard spectroscopic techniques, including ^1H NMR, mass spectrometry, IR spectroscopy, UV-Vis spectroscopy, fluorescence spectroscopy, and elemental analysis. To examine the metal–sensor interactions, 0.1 M solutions of nitrate salts of different metal ions—namely Al^{3+} , Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , Cd^{2+} , Pb^{2+} , Co^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} , Ag^+ , NH_4^+ , and Cu^{2+} —were prepared. The sensing experiments were conducted by adding these metal ion solutions (prepared in distilled water) to a 3 mL solution of the Calix-BODIPY compound (1×10^{-6} M in ethanol). The changes in fluorescence intensity upon addition of each metal ion were recorded using a fluorescence spectrophotometer to evaluate the metal-induced response of the sensor system.



Keywords: Fluorescent sensor, calixarene, Metal sensor

Acknowledgments: We would like to thank the project numbered TUBITAK-222Z146 for its financial support.

FULL TEXT PAPERS

In this area, there are full-text papers sent to the IMASCON 2025 SPRING congress that meet the conditions of the congress.

DC04EK VE DC04ED KALİTE SACLARINDA EMAYE KAPLAMA İŞLEMLERİ, EMAYE KALİTESİNİN VE PERFORMANSININ İYİLEŞTİRİLMESİ

Şeyda EFE

Kocaeli Üniversitesi, Müh. fakültesi, Kimya Mühendisliği, Kocaeli, Türkiye
seyda444441@gmail.com

Meltem YILDIZ

Kocaeli Üniversitesi, Müh. fakültesi, Kimya Mühendisliği, Kocaeli, Türkiye
myildiz@kocaeli.edu.tr, ORCID NO: 0009-0001-9596-9580

Özet

Günümüzde beyaz eşyadan, sanayiye, sanata, inşaat sektörüne kadar birçok alanda geniş kullanım alanı bulan emaye döküm çelik alüminyum yapılar bulunmaktadır. Emaye, kullanım alanına göre görsel olarak güzel görünmesi, dayanıklı ve uzun ömürlü olması sebebiyle tercih edilmektedir. Bu amaçla kullanılan emayeden, hammadde olarak kullanılan sac metale kadar her aşaması test edilmeli ve kalitesinden emin olunmalıdır. Bu amaçla, doğrudan emaye çelik olarak kullanılabilen DC04EK ve DC04ED kalite sacların farklı uygulama yöntemleri ve uygulama şekilleri ile performansının test edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla 0,50 mm ve 0,70 mm kalınlığında iki farklı DC04EK ve DC04ED kalite sac kullanılmış, bu saclar üzerine daldırma ve püskürtme yöntemleri ile tek ve çift kat emaye uygulamaları yapılmıştır. Uygulanan sacların yapışma performansı ve yüzey uygunluğu test edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Emaye, Çelik, Daldırma Yöntemleri, Sprey Yöntemleri, Yapışma

ENAMEL COATING PROCESSES ON DC04EK AND DC04ED QUALITY SHEETS, IMPROVEMENT OF ENAMEL QUALITY AND PERFORMANCE

Abstract

Today, there are enameled cast steel aluminum structures that are widely used in many areas from white goods to industry, art, and construction. Enamel is preferred due to its visually beautiful appearance, durability, and long life depending on the area of use. For this purpose, every stage from the enamel used to the sheet metal used as raw material should be tested and its quality should be ensured. For this purpose, it is aimed to test the performance of DC04EK and DC04ED quality sheets that can be used directly as enamel steel with different application methods and application forms. For this purpose, two different DC04EK and DC04ED quality sheets with a thickness of 0,50 mm and 0,70 mm were used, and single and double layer enamel applications were made on these sheets by dipping and spraying methods. The adhesion performance and surface suitability of the applied sheets were tested.

Keywords: Enamel, Steel, Dipping Methods, Spray Methods, Adhesion

1. GİRİŞ

Günümüzde endüstriyel üretim süreçlerinde kullanılan metal yüzeylerin dış etkenlere karşı dayanıklılığının artırılması, ürün kalitesi ve kullanım ömrü açısından hayati bir önem taşımaktadır. Bu bağlamda, seramik esaslı inorganik bir kaplama yöntemi olan emaye kaplama (vitreous enamel coating), hem işlevsel hem de estetik avantajlarıyla birçok sektörde tercih edilen bir yüzey kaplama teknolojisi hâline gelmiştir. Emaye kaplamalar, özellikle düşük karbonlu çelik yüzeyler üzerine uygulandıklarında, metalin oksidasyon, aşınma ve kimyasal etkilere karşı korunmasını sağlamakta; aynı zamanda ısıya dayanıklı, hijyenik ve kolay temizlenebilir bir yüzey oluşturmaktadır (Gouda, El-Sayed ve Ahmed, 2014).

Emaye kaplama, başta beyaz eşya ve mutfak gereçleri olmak üzere, otomotiv, inşaat ve enerji sektörlerinde de yaygın kullanım alanı bulmaktadır. Ancak emaye kaplamaların başarıyla uygulanabilmesi; uygun çelik

seçimi, yüzey hazırlığı, emaye reçetesi, pişirme parametreleri ve kalite kontrol adımlarının hassasiyetle yürütülmesini gerektirir. Özellikle emaye kaplamaya uygun çelik kalitelerinin geliştirilmesi, kaplamanın aderansı, yüzey bütünlüğü ve mikroyapısal özellikleri üzerinde doğrudan belirleyici rol oynamaktadır (Ayyıldız ve diğ., 2021).

Bu doğrultuda, emaye kaplama işlemlerinde yaygın olarak tercih edilen DC04EK ve DC04ED kalite çelikler, düşük karbon içerikleri, homojen mikroyapıları ve uygun yüzey nitelikleri sayesinde dikkat çekmektedir. DC04EK çeliği, özellikle özel yüzey işleme koşullarına uygunluğu ile öne çıkarken, DC04ED çeliği daha düşük yüzey pürüzlülüğü ve gelişmiş yapılaşma özellikleri ile tercih edilmektedir. Her iki kalite sacın emaye kaplamaya uygunluğu, yüzey ön işlemler, astar ve üst kat emaye uygulamaları sonrasında oluşan mikroyapıların, fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinin detaylı olarak incelenmesini gerekli kılmaktadır (Rossi ve Scrinzi, 2013).

Bu çalışmanın temel amacı, DC04EK ve DC04ED kalite düşük karbonlu çelikler üzerine uygulanan emaye kaplamaların kalite ve performans özelliklerini incelemektir. Bu doğrultuda, öncelikle emaye kaplama sürecinde kullanılan astar kat ve üst kat emayelerin yapısının incelenmesi amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Emaye Kalite Sacların ve Emaye Tozunun Karakterizasyonu

Emaye kalite sac olarak 0,50mm ve 0,70mm kalınlıklarında DC04EK ve DC04ED kalite saclar kullanılmıştır. Emaye kaplama tozu olarak Akcoat firmasından tedarik edilen RTU GR 2142 kodlu hem Astar hem de Sonkat kaplama işlemine uygun olarak kullanılan siyah renkli Nikel yapılı bir emaye tozu kullanılmıştır.

Kaliteli bir emaye elde etmek için kaplanacak yüzeylerin temizliği çok önemlidir. Emayelemede kullanılan saclar genelde soğuk çekilerek hazırlanmışlardır. Soğuk çekme sacların üretimleri sırasında yüzeylerine paslanmadan korunmaları için anti-korozyon etkili koruma yağı tabakası uygulanır. Koruma yağları genellikle bitkisel ve organik bileşimlidir. Tüm bu şekil verme işlemlerinden sonra sacın yüzeyinde koruma yağları ve metal parçacıkları bulunur. Tüm bu istenmeyen maddelerin temizlenmesi için iyi bir banyolama işlemi gerekir (Durmuşoğlu, Y. 2009). Bu amaçla sac numunelerinin yüzeyindeki yağ ve kirin temizlenmesi işlemi yapılmıştır.

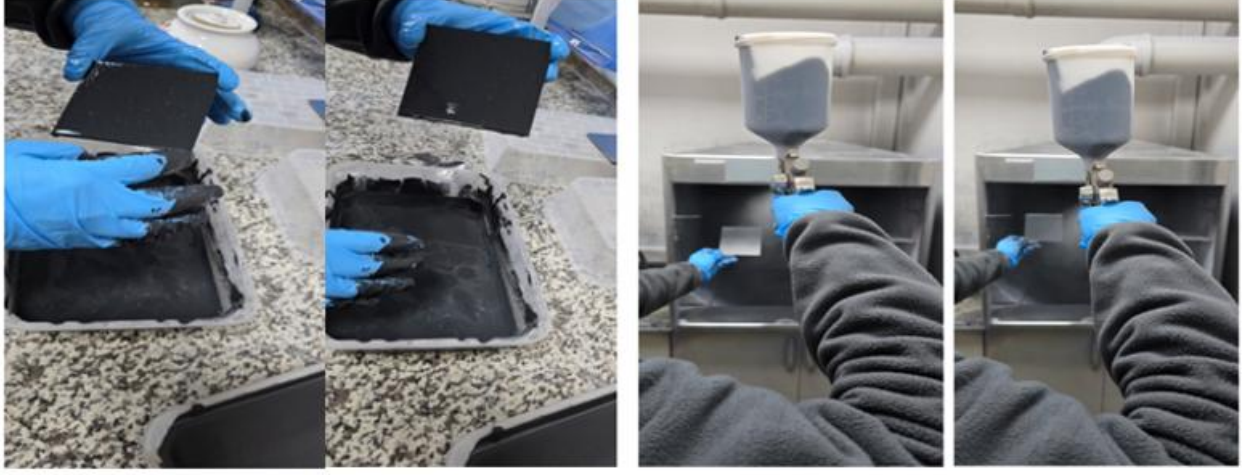
2.2. Emaye Kaplama Yöntemleri

Sac yüzeylerine emayeleme işlemi yaş emaye hazırlıp daldırma ve püskürtme yöntemleri kullanılarak yapılmıştır. Emaye kaplama prosesi olarak tek kat tek pişirim ve çift kat çift pişirim işlemleri yapılmıştır. Daldırma işleminde kullanılacak yaş emaye ile uygulama hem astar hem de sonkat katında kullanılacak RTU GR 2142 kodlu emaye tozu kullanılarak yapılmıştır. 600gr emaye tozu tartılmış, üzerine 240ml su ilave edilerek karıştırıcıda 30dk karıştırılmıştır. Emayenin tane boyutu 4 bayere ayarlanmıştır. Yaş emaye karışımı 5dk dinlendirildikten sonra 0,50mm ve 0,70mm kalınlığındaki DC04EK ve DC04ED kalite sac numunelerine sırasıyla tek kat ve çift kat olarak uygulanmıştır.

Tek Kat Tek Pişirim yönteminde çift kat uygulama yapılacak saclar için de ilk kat uygulaması aynı şekilde yapılmıştır. Sac numunelerinin ikişer adedi tek kat pişirim için, ikişer adedi de çift kat pişirim için emaye kaplanmıştır. Çift Kat Çift Pişirimde ilk katı uygulanıp, etüvde kurutulmuş ve kül fırınında pişirilip soğutulmuş ikişer adet sac numuneleri çift kat uygulama için sırasıyla yaş emaye kabına tekrar daldırılıp ikinci kat için emaye ile yüzey kaplanmıştır.

Püskürtme işleminde kullanılacak yaş emayede uygulama hem astar hem de sonkat katında kullanılacak RTU GR 2142 kodlu emaye tozu kullanılarak yapılmıştır. 300gr emaye tozu tartılmış, üzerine 135ml su ilave edilerek emaye karışımının tane boyutu bilyeli değirmende 0,5 bayere ayarlanarak emaye çamuru

oluşturulmuştur. Pistole tabanca ile emaye saclara uygulanmış, Tek Kat Tek Pışırım ve Çift Kat Çift Pışırım numuneler hazırlanmıştır.



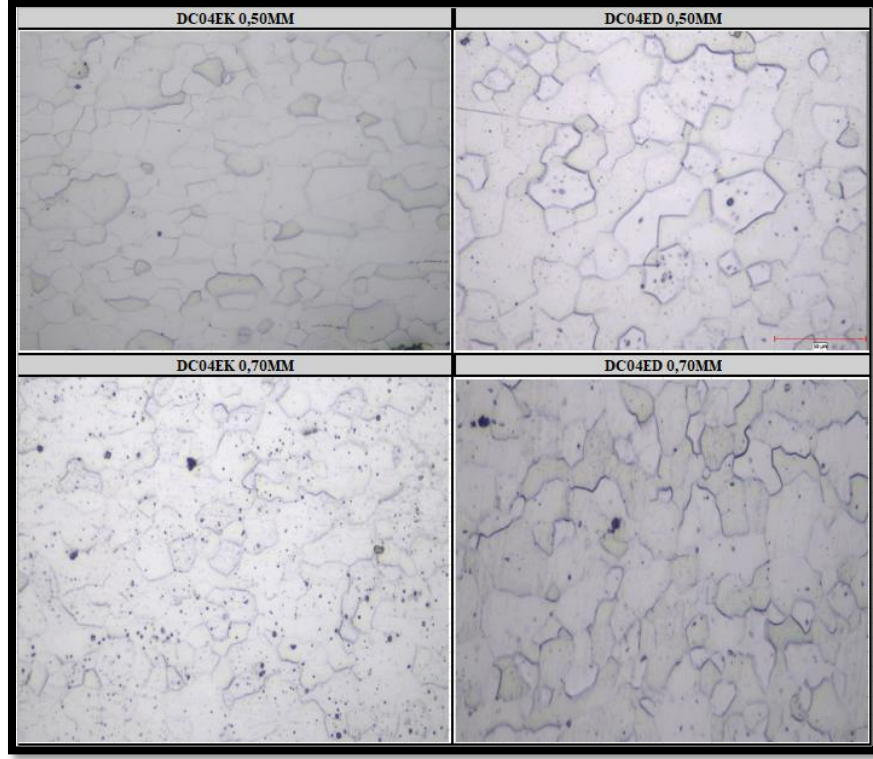
Daldırma Yöntemi ile Emaye Kaplama İşlemi

Püskürtme Yöntemi ile Emaye Kaplama İşlemi

3. SONUÇ

Sac yüzeyine emaye kaplama işlemlerinde genel olarak DC04EK ve DC04ED kalite emaye sacları kullanılmaktadır. Sacların ve kullanılan emaye tozunun performansını test etmek için deneysel çalışmada 0,50mm ve 0,70mm kalınlıkta iki farklı sac kullanılmış, emaye kaplama işlemleri daldırma ve püskürtme olarak tek kat ve çift kat uygulamalarla test edilmiştir. Çalışmada yaş formda daldırma ve püskürtme işlemlerine uygun Nikel yapılı bir emaye tozu tercih edilmiştir.

Emaye kaplamada kullanılan sacların emayelemeye uygunluğunu test etmek için Kimyasal Analiz, Çekme testi, Sertlik Ölçümü, Pürüzlülük Ölçümü ve Mikroyapı analizleri yapılmıştır. Yapılan tüm analizler sonucu kullanılan sacların emaye kaliteye uygun olduğu tespit edilmiştir. Hazırlanan DC04EK ve DC04ED Kalite Sacların Mikroyapı Görüntüleri Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1. DC04EK ve DC04ED Kalite Sacların Mikroyapı Görüntüleri

Emaye Kaplama Performans Testleri olarak Kalınlık Ölçümü, Renk Ölçümü, Parlaklık Ölçümü, Sitrik Asit Dayanım Testi, Balık Pulu Kontrolü, Darbe ve Yapışma Testi uygulanmıştır. Tek kat ve Çift kat olarak daldırma ve püskürtme yöntemleriyle yapılan emaye kaplanmış saclar için emaye kalınlığı ölçüm görselleri ve sonuçları Şekil 2'deki gibidir:

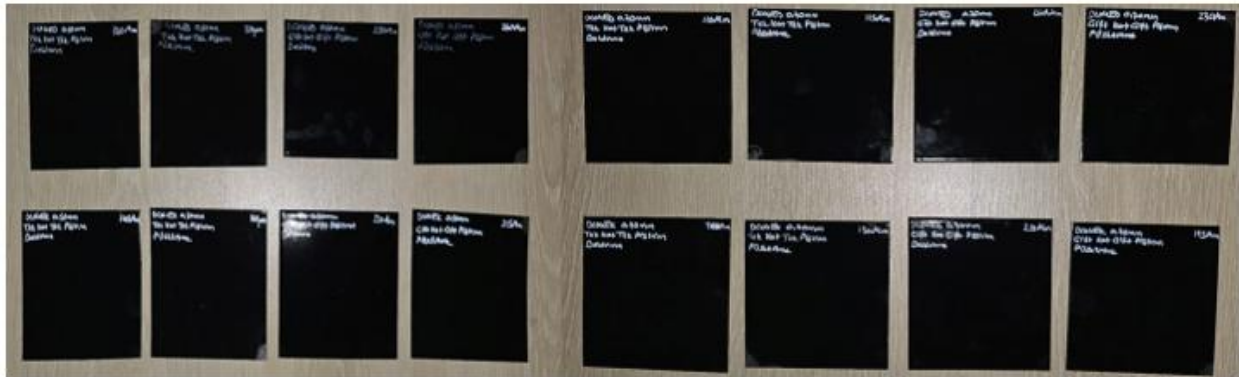


Şekil 2. 0,50mm ve 0,70mm DC04ED ve DC04EK Tek ve Çift Kat Daldırma ve Püskürtme Yöntemiyle Kaplanmış Emaye Kaplama Görselleri

Bu çalışmada taban malzeme olarak kullanılan sacın emayeye uygunluğu ve emaye kaplanan sacın performansı incelenmiştir. Yapılan kalite kontrol testlerinde kullanılan DC04EK ve DC04ED kalite sacların emaye kaliteye uygun olduğu tespit edilmiştir. Emaye kaplanmış saclara uygulanan performans testlerinde kullanılan emaye tozunun sac yüzeyine yapışma performansının 0,50mm DC04EK kalite sacın daldırma ve püskürtme tek kat ve çift kat uygulamalarda en iyi olduğu ve yapılan uygulamaların hiçbirinde yüzeyde balık pulu hatasına rastlanmadığı görülmüştür. Yapılan yapışma testi görselleri Şekil 3 ve 1 ay süreyle bekletme sonucu balık pulu görülmeyen yüzey görselleri Şekil 4’ deki gibidir:



Şekil 3. 0,50mm ve 0,70mm DC04EK ve DC04ED Yapışma Test Görselleri



Şekil 4. 1 Ay Süre ile Bekletilen Emaye Kaplanmış Sac Yüzeyleri Görüntüsü

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın her aşamasında her türlü kolaylığı gösteren çalışmış olduğum firma Yıldız Demir Çelik Sanayi A.Ş’ ye, değerli laboratuvar ekibime ve Akcoat A.Ş firması Yücel DAYMAZ ve ekibine teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

- Ayyıldız, S., Varol, T., & Pürçek, G. (2021). Al7075 alaşımına uygulanan dekoratif krom kaplama tabakasının karakterizasyonu. *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 7(1), 132–140.
- Durmuşoğlu, Y. (2009). Emayeleme ve olşabilecek hatalar (Yüksek Lisans Tezi) Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Gouda, M., El-Sayed, A., & Ahmed, A. (2014). Microstructure and adherence of vitreous enamel to low carbon steel. *Surface and Coatings Technology*, 240, 290–296.
<https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2013.12.042>

Rossi, S., ve Scrinzi, E. (2013). Evaluation of the abrasion resistance of enamel coatings. Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, 68, 74-80.

LAZER KESİM MAKİNELERİNDE GÖRÜNTÜ İŞLEME DESTEKLİ BULANIK MANTIK YÖNTEMİ İLE SERVO MOTOR KAZANÇLARININ AYARLANMASI

İhsan Mahmutoglu

Marmara Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Mekatronik Mühendisliği
ihshan.m@gmail.com, ORCID: 0009-0009-9385-9482

Prof. Dr. Gökhan Gökmen

Marmara Üniversitesi / Teknoloji Fakültesi / Mekatronik Mühendisliği Bölümü
gokhang@marmara.edu.tr, ORCID: 0000-0001-6054-5844

Özet

Lazer kesim makineleri, üretim süreçlerinde yaygın olarak kullanılan yüksek hızlı ve yüksek hassasiyetli CNC kesim makinaları arasında yer alır. Bundan dolayı her geçen gün Lazer kesim makinelerinin üretimi artmaktadır. Bu makinelerin üretim aşamasında, makinede kullanılan Servo sistemlerin kazanç parametrelerinin en uygun şekilde ayarlanması ve kalite kontrol işlemleri belirli bir zaman alır. Kazanç parametrelerini uygun ayarlanmadığında kesim kalitesi düşebilir.

Servo kazanç ayarlanması için üreticiler bazı ön ayarlar ve otomatik ayarlama için kılavuzlara ve yöntemlere sahiptir. Bu ayarlama yöntemleri tek eksenli sistemler için ayarlamaya odaklandığından eşzamanlı çalışan çok eksenli makinelerde yetersiz kalmaktadır. Bundan dolayı ayarlama kısmı ayar yapan kişinin tecrübesine bağlı olarak, deneme yanılma yapması ile gerçekleşir ve çok uzun zamanlar alabilir. Ayrıca ayar aşamasında kumpas benzeri ölçü aletlerinin kullanılması kişiye bağlı hatalar yapılmasına ve ayar süresinin daha da uzamasına neden olabilir. Bu çalışma, bir biri ile eşzamanlı çalışan iki eksenli eksenli kartezyen bir sistem için servo motor kazanç parametrelerinin daha doğru ve hızlı belirlenmesi amacıyla görüntü işleme tekniklerinden yararlanılan ve bulanık mantıkla karar veren yenilikçi bir model sunulmaktadır.

Önerilen yöntem, lazer kesim makinesinde kesilen test parçalarının görüntü işleme teknikleriyle analiz edilmesine ve bu analiz sonucunun bulanık mantık ile yorumlanmasına dayanır. Dairesel formdaki test parçasının gerçek şekli ile arasındaki sapmalar ölçülerek en zamanlı çalışan servo eksenler arasındaki uyumsuzluk tespit edilir. Geliştirilen bulanık mantık algoritması bu sapmaları yorumlayarak her eksen için en uygun servo motor kazançlarını hesaplar. Kesim kalitesi istenilen seviyeye ulaşana kadar süreç tekrarlanabilir.

Çalışmanın deneysel kısmında, önce taslak görüntüler üzerinden testler gerçekleştirilmiş ve görüntü işleme destekli modelin doğruluğu değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, geliştirilen bu yöntemin iki eksenli kartezyen bir sistemde servo kazanç parametrelerini geleneksel yöntemlere göre daha hızlı ve daha güvenilir bir biçimde belirleyebileceği ve böylece lazer kesim makinelerinin devreye alma sürecini kısaltılırken kalitenin ve verimliliğin artırabileceği ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: CNC Kesim Makineleri, Servo Kazanç Parametreleri, Görüntü işleme, Bulanık mantık

ADJUSTMENT OF SERVO MOTOR GAINS IN LASER CUTTING MACHINES USING IMAGE PROCESSING-SUPPORTED FUZZY LOGIC METHOD

Abstract

Laser cutting machines are among the high-speed, high-precision CNC cutting machines widely utilized in manufacturing processes. Consequently, the production of laser cutting machines is continuously increasing. During the manufacturing stage of these machines, the optimal adjustment of servo system gain parameters and quality control processes require considerable time. Improper tuning of gain parameters can adversely affect cutting quality.

Manufacturers provide certain presets, guidelines, and automatic adjustment methods for servo gain tuning. However, since these conventional tuning methods mainly focus on single-axis systems, they are inadequate for multi-axis machines operating synchronously. Therefore, the tuning process often relies heavily on the experience of the operator, involving trial and error methods, and may thus become very time-consuming. Additionally, using measurement tools such as calipers during tuning introduces the potential for human error and further prolongs the adjustment period.

This study introduces an innovative model that leverages image processing techniques combined with fuzzy logic decision-making to achieve faster and more precise determination of servo motor gain parameters for a two-axis synchronous Cartesian system. The proposed method is based on analyzing test parts cut by a laser cutting machine using image processing techniques and interpreting the results through fuzzy logic. By measuring deviations between the actual shape of circular test parts and an ideal circle, discrepancies between synchronously operating servo axes are identified. A developed fuzzy logic algorithm then evaluates these deviations and calculates optimal servo motor gain parameters for each axis. The process can be iteratively repeated until the desired cutting quality is attained.

In the experimental section of this study, preliminary tests were conducted using draft images, assessing the accuracy of the image-processing-supported model. Consequently, this research demonstrates that the developed method can determine servo gain parameters for a two-axis Cartesian system faster and more reliably than traditional methods, thereby reducing commissioning time and enhancing quality and productivity of laser cutting machines.

Keywords: CNC Cutting Machines, Servo Gain Parameters, Image Processing, Fuzzy Logic

1. GİRİŞ

Lazer kesim makineleri, üretim süreçlerinde yüksek hız ve hassasiyet gerektiren CNC kesim sistemleri arasında önemli bir yere sahiptir. Özellikle otomotiv, havacılık, beyaz eşya ve savunma sanayi gibi hassas üretim gerektiren sektörlerde kesim kalitesinin yüksek olması kritik önemdedir. Teknolojik gelişmeler ve artan üretim ihtiyacı doğrultusunda, lazer kesim makinelerinin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Bu süreçte, makine performansını ve kesim kalitesini doğrudan etkileyen faktörlerin başında servo motor kazanç parametrelerinin doğru ayarlanması gelmektedir [1-3]. Servo motorların kazanç parametrelerinin ayarlanması genellikle üretici firmaların önerdiği ön ayarlar veya tek eksenli otomatik ayarlama yöntemlerine dayanmaktadır. Ancak bu yöntemler çok eksenli eşzamanlı çalışan sistemlerde yetersiz kalmakta ve süreç manuel ayarlama yöntemleri ile desteklenmektedir. Bu durum, ayarlama işlemlerinin kullanıcı tecrübesine bağlı olarak uzun zaman almasına ve hata payının artmasına yol açmaktadır.

Bu çalışma, lazer kesim makinelerinde servo motor kazanç parametrelerinin hızlı ve hassas şekilde optimize edilmesi amacıyla görüntü işleme destekli bulanık mantık modeli önermektedir. Geliştirilen model, kesim işlemlerinin sonuçlarını görüntü işleme teknikleri ile analiz ederek servo motor kazançlarını belirlemeyi hedeflemektedir. Modelin amaçları arasında kazanç parametrelerinin doğru hesaplanması, insan kaynaklı hataların azaltılması, kalite kontrol süreçlerinin hızlandırılması ve üretim maliyetlerinin düşürülmesi bulunmaktadır.

2. YÖNTEM

Lazer kesim makineleri farklı lazer tiplerini kullanarak metal, plastik ve ahşap gibi çeşitli malzemelerde yüksek hassasiyetli ve düşük kayıplı kesim yapabilen CNC kontrollü sistemlerdir [4,5]. CNC kontrol sistemleri, CAM (Bilgisayar Destekli Üretim) yazılımlarıyla birlikte hareket ederek kesim hızını ve kalitesini optimize eder, adaptif kontrol algoritmalarıyla malzeme türüne ve kalınlığına göre parametreleri dinamik olarak ayarlar [6,7]. Özetle bir lazer kesim makinası genellikle; hareket kontrol tarafında bir CNC kontrolcüyü bağlı AC servo sürücüler ve bunların altında çalışan AC servo motorlardan oluşur. CNC lazer

kesim makinalarında pozisyon referansları CNC kontrolcü tarafından her bir eksen(X,Y,Z) için ayrı ayrı üretilir. Pozisyon kontrol döngüsü her bir eksendeki servo sürücü ve motor arasında kapalı çevrim olarak diğer eksenlerden bağımsız bir şekilde yapılır. Servo motorların konum ve hız kontrolü, optik enkoder ve rezolver gibi geri besleme sistemleriyle sağlanarak yüksek hassasiyet elde edilmeye çalışılır. [8,9].

Kusursuz bir kesim ortaya çıkması için bütün eksenlerdeki servoların pozisyon referansını aynı pozisyon takip hatası ile takip etmesi gerekir. Bundan dolayı servo sistemler, lazer kesim makinelerinde hassas konumlama ve yüksek hız performansı için kritik öneme sahiptir. Servo kazanç parametreleri titreşimleri azaltmak, hedef aşımını önlemek, pozisyon kontrolünü sağlamak için matematiksel modelleme, Ziegler-Nichols yöntemi ve adaptif kontrol teknikleri ile ayarlanır. [10-11]. Ancak burada unutmamak gerekir ki servo motor ve sürücü üreticileri bu teknikleri bir servo motor ve sürücü için uygular. Servoların birbiri ile uyumunu kullanıcı her bir servo için yaptığı farklı ayarlar ile kendisi sağlamak zorundadır. Bundan dolayı kullanıcı deneme yanılma yöntemi ile eksenler için birbiri ile en uyumlu çalışan kazanç ayarlarını bulmak amaçlanmıştır.

2.1. Dijital Görüntü İşleme Yöntemleri İle Test Parçasının Analizi

Kesim makinasından elde edilen daire test parçasının hassas geometrik analizini gerçekleştirmek amacıyla sayısal görüntü işleme tekniklerinden yararlanılmıştır. Python ortamında geliştirilen algoritma ile şekil tanıma ve analiz işlemleri gerçekleştirilmiş olup, örnek bir çıktı Şekil 1’de gösterilmiştir. Algoritmanın temel amacı, görüntüdeki şekillerin konturlarını tespit ederek bu konturlara en uygun geometrik şekli (özellikle elips ve daire) matematiksel olarak modellemek ve bu model üzerinden dairesellikten sapmayı analiz ekmektir. Kullanılan yöntemler sayısal görüntü işleme, kontur analizi ve cebirsel geometriye dayanmaktadır.



Şekil 1: Test Parçasının Elipslik Miktarının Hesaplanması

İlk aşamada, görüntü üzerinde şekilleri tespit edebilmek için OpenCV kütüphanesinin cv2.findContours() fonksiyonu kullanılmıştır. Bu fonksiyon, ikili (binary) hale getirilmiş görüntüdeki bağlı bileşenleri tespit eder. Özellikle Suzuki ve Abe tarafından geliştirilen sınır izleme algoritması temel alınmıştır [13]. Bu yöntem, beyaz (foreground) piksellerin sınırlarını saat yönünde dolaşarak tüm kontur noktalarını bir liste halinde çıkarır. Tespit edilen her kontur için, konturun çevresi cv2.arcLength() fonksiyonu ile hesaplanır. Kontur noktaları bir çokgen olarak düşünüldüğünde, bu çevre hesaplaması aşağıdaki Öklidyen mesafe formülü ile yapılır [15]:

$$\text{Çevre} = \sum \sqrt{((x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2)} \quad (1)$$

Her bir kontur noktası kümesine en iyi uyan elips, cv2.fitEllipse() fonksiyonu ile belirlenir. Bu işlem, en küçük kareler yöntemi (Least Squares Method) ile yapılır [14]. Elips, genel konik kesit denklemiyle ifade edilir:

$$Ax^2 + Bxy + Cy^2 + Dx + Ey + F = 0 \quad (2)$$

Ancak bu denklem yalnızca elipsi değil, parabol ve hiperbolü de ifade edebilir. Denklemin elips olabilmesi için aşağıdaki koşul sağlanmalıdır [14]:

$$B^2 - 4AC < 0 \quad (3)$$

Bu parametrik model ile elipsin merkez noktası, dönüklük açısı, majör ve minör eksen uzunlukları gibi karakteristik parametreleri bulunur. Elde edilen bu değerler sayesinde, şeklin daireye ne kadar yakın olduğu değerlendirilebilir. Daire olup olmadığı şu koşula göre belirlenir [15]:

$$|a - b| < \text{tolerans} \quad (4)$$

Elipsin majör ve minor eksen uç noktaları aşağıdaki trigonometric dönüşümlerle hesaplanılarak uzunlukları bulunur.[15]:

$$x = x_0 \pm (a / 2) \cdot \cos(\theta), \quad y = y_0 \pm (a / 2) \cdot \sin(\theta) \quad (5)$$

2.2. Bulanık Mantık İle Servo Kazanç Parametrelerinin Hesaplanması



Şekil 2: Bulanık Mantık Denetleyicisi Giriş Çıkış Blok Diyagram[19]

Bu çalışmada, fiber lazer kesim makinelerinde dairesellikten sapma sonucu oluşan eliptik kesimlerin analizi yoluyla, X ve Y eksenlerindeki servo motor kazançlarının otomatik olarak ayarlanmasını sağlayan bulanık mantık tabanlı bir kontrol algoritması geliştirilmiştir. Bu yaklaşım, eksenler arası kazanç dengesizliklerinin telafi edilmesini ve dairesel hareketlerdeki hassasiyetin artırılmasını hedeflemektedir.

Algoritmanın temel girdileri şunlardır:

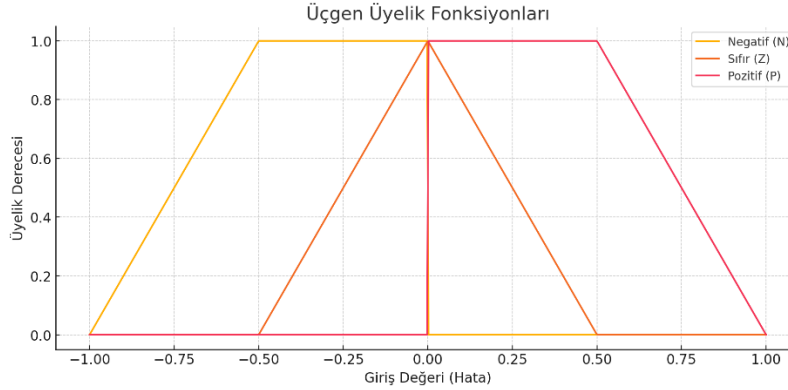
- Elips Major eksen uzunluğu
- Elips Minor Eksen Uzunluğu
- Elipsin majör ekseninin X eksenine yaptığı açı
- Hedef Çap değeri
- Mevcut Servo motor Kazanç değerleri(X ve Y eksenine için)

Elipsin major ve minor eksenleri ile hedef çap arasındaki fark, normalize edilerek hata değerleri hesaplanmaktadır. Bu işlemler şu şekilde formüle edilir:

$$\text{majorHata} = (\text{major} - \text{hedefCap}) / \text{hedefCap} \quad (6)$$

$$\text{minorHata} = (\text{minor} - \text{hedefCap}) / \text{hedefCap} \quad (7)$$

Hata değerleri, kontrolcünün aşırı tepki vermesini önlemek amacıyla $[-1, +1]$ aralığında sınırlandırılır. Bu işlem, bulanık kontrol sistemlerinde yaygın olarak uygulanan bir ön işleme yöntemidir [16]. Bu çalışmada da kullanılan üçgen üyelik fonksiyonları, hesaplama açısından verimli ve yorumlanabilir olmaları nedeniyle tercih edilmiştir. Üyelik fonksiyonlarının genel yapısı Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3:Üyelik Fonksiyonları Genel Yapısı

Hataların yorumlanabilmesi için üçgen biçiminde tanımlanmış üyelik fonksiyonları kullanılmıştır. Kullanılan dilsel terimler şunlardır:

- Negatif (N)
- Sıfır (Z)
- Pozitif (P)

Örneğin "Sıfır (Z)" üyelik fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$Z(x) = 1 - |x| / 0.5, |x| < 0.5; 0, \text{ aksi halde} \quad (8)$$

Bulanık kurallar, hata kombinasyonlarına göre ayarlamaların yönünü belirler. Örneğin:

Eğer major pozitif ve minor negatif → major azaltılır, minor artırılır.

- Eğer ikisi de negatif → her iki eksen artırılır.

Bulanık kural tabanı, major ve minor hata değerlerinin kombinasyonuna göre servo kazançlarının hangi yönde ve hangi ekseninde ayarlanacağına karar verir. Kuralların çıktıları, ağırlıklı ortalama yöntemiyle birleştirilerek, net kontrol komutu elde edilir. Bu yaklaşım, Mamdani tipi bulanık çıkarım sistemlerinde sıkça kullanılan bir sonuçlandırma yöntemidir [17].

Tablo 1: Kural 1 Tablosu – Major ve Minor Hatalarına Göre Ayar Kararları

Major Hata	Minor Hata	Major Ayar	Minor Ayar
Büyük Pozitif (+)	Büyük Pozitif (+)	Azalt (-)	Azalt (-)
Büyük Pozitif (+)	Büyük Negatif (-)	Azalt (-)	Artır (+)
Büyük Negatif (-)	Büyük Pozitif (+)	Artır (+)	Azalt (-)
Büyük Negatif (-)	Büyük Negatif (-)	Artır (+)	Artır (+)
Büyük Pozitif (+)	Sıfır (0)	Azalt (-)	Değiştirme (0)
Büyük Negatif (-)	Sıfır (0)	Artır (+)	Değiştirme (0)
Sıfır (0)	Büyük Pozitif (+)	Değiştirme (0)	Azalt (-)
Sıfır (0)	Büyük Negatif (-)	Değiştirme (0)	Artır (+)
Sıfır (0)	Sıfır (0)	Değiştirme (0)	Değiştirme (0)

Tablo 2: Kural 2 Tablosu – Major Eksene Göre Kazanç Dağılımı

Major Eksen Açısı (theta)	cos(theta)	sin(theta)	deltaGainX	deltaGainY
0° (X yönü)	1.0	0.0	-majorHata * 0.05	0
90° (Y yönü)	0.0	1.0	0	-majorHata * 0.05
45° (diyagonal)	0.707	0.707	-majorHata * 0.035	-majorHata * 0.035
30°	0.866	0.5	-majorHata * 0.043	-majorHata * 0.025
60°	0.5	0.866	-majorHata * 0.025	-majorHata * 0.043

Elipsin yönü, yani major eksenin X eksenine yaptığı açı, kazanç değişiminin hangi ekseninde ne oranda yapılacağını belirlemede kullanılır. Trigonometrik bileşenler yardımıyla kazanç değişimleri aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\Delta\text{GainX} = - \text{majorHata} \times |\cos(\theta)| \times k \quad (9)$$

$$\Delta\text{GainY} = - \text{majorHata} \times |\sin(\theta)| \times k \quad (10)$$

Burada k deneysel olarak belirlenen sabittir (örneğin 0.05) [18].

3. TARTIŞMA

Bu çalışmada geliştirilen görüntü işleme destekli bulanık mantık tabanlı servo kazanç ayarlama modeli, lazer kesim makinelerinde hassasiyetin artırılmasında önemli katkılar sunmuştur. Özellikle dairesellikten sapma gibi geometrik bozulmaların sistematik bir şekilde tespit edilmesi ve bu saptamalara yönelik servo motor kazançlarının otomatik olarak ayarlanması, geleneksel yöntemlerin sınırlarını aşan bir yaklaşım ortaya koymuştur. Konvansiyonel ayarlama süreçlerinde kullanıcı tecrübesine ve manuel ölçüm araçlarına bağlılık yüksek iken, bu çalışmada görüntü işleme ile elde edilen veriler nesnel ve tekrarlanabilir karar mekanizmalarına dönüştürülmüştür.

Bulanık mantık denetleyicisinin, elipsin geometrik parametrelerini kullanarak servo kazançları üzerinde yaptığı yönlendirmeler, X ve Y eksenleri arasındaki uyumsuzlukları minimize etmiş ve kesim sonucunda dairesellik sapmalarını önemli ölçüde azaltmıştır. Ayrıca, major eksenin X eksenine göre kazanç dağılımını belirleyen ikinci kural tablosu, eksen bazlı iyileştirmelerin daha hassas yapılmasına olanak sağlamıştır.

Bu model, yalnızca iki eksenli kartesyen sistemlerde değil, daha karmaşık çok eksenli sistemlerde de genişletilerek kullanılabilecek potansiyele sahiptir. Ancak, sistemin daha geniş uygulamalarda kullanılabilmesi için bulanık kural tabanının genişletilmesi, elips dışındaki şekillerin de analiz edilmesi ve modelin adaptif öğrenme yetenekleriyle desteklenmesi gibi geliştirme alanları da mevcuttur.

4. SONUÇ

Bu çalışmanın sonucunda, lazer kesim makinasından kesilen daire test parçalarındaki geometrik hataların, X ve Y eksenlerine ait servo kazanç parametrelerinin uygun şekilde ayarlanması ile düzeltilebildiği gösterilmiştir. Kazanç değerlerinin geleneksel manuel yöntemler yerine, görüntü işleme ile analiz edilen test parçası verileri üzerinden, bulanık mantık kullanılarak hesaplanması sayesinde daha hızlı, güvenilir ve kullanıcı bağımsız bir ayarlama süreci elde edilmiştir.

Geliştirilen model, yalnızca teorik bir yaklaşım olarak kalmamış; gerçek test verileri üzerinde yapılan deneylerle performansı doğrulanmıştır. Elde edilen sonuçlar, sistemin kesim kalitesini iyileştirdiğini ve devreye alma süresini önemli ölçüde azalttığını göstermektedir. Bu yönüyle önerilen yaklaşım, lazer kesim sistemlerinin üretim ve kalite kontrol süreçlerinde uygulanabilir ve endüstriyel otomasyon alanına katkı sağlayabilecek niteliktedir.

KAYNAKÇA

- [1] D. Kavala Şen, "Beş Uzunlu Paralel Manipülatörün Lazer Kesim Makinelerine Entegrasyonu," Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa, Türkiye, 2016.
- [2] MEB, "Lazer Kesim Teknolojileri," Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara, Türkiye, 2020. Erişim: <https://meslek.meb.gov.tr/upload/dersmateryali/pdf/MET2024IDM111210.pdf>, Erişim tarihi: 01.03.2025.
- [3] H. Ergun ve F. Türker, "CNC İşleme Merkezlerinde Hataların İş Esaslı Yaklaşımla Düzeltilmesi," *Mühendis ve Makina*, cilt 61, sayı 701, ss. 425-439, 2020.
- [4] A. M. Eskicioğlu ve M. Köksoy, "Bulanık Mantık Tabanlı Görüntü İşleme Teknikleri ile Kalite Kontrol Uygulamaları," *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, cilt 26, sayı 6, ss. 1090-1096, 2020.
- [5] M. Groover, *Fundamentals of Modern Manufacturing*, 7th ed., Wiley, 2020.
- [6] W. M. Steen ve J. Mazumder, *Laser Material Processing*, 4th ed., Springer, 2010.

- [7] D. T. Pham ve S. S. Dimov, "Laser Cutting Systems," *CIRP Encyclopedia of Production Engineering*, Springer, 2019.
- [8] A. Tönshoff et al., "CNC Control Systems for Laser Processing," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 120, no. 1-3, pp. 23-28, 2002.
- [9] Yaskawa Electric Corporation, *Sigma-7 Servo Drives User Manual*, 2020.
- [11] J. J. Craig, *Introduction to Robotics: Mechanics and Control*, 4th ed., Pearson, 2017.
- [12] K. Ogata, *Modern Control Engineering*, 5th ed., Pearson Education, 2010.
- [13] S. Suzuki ve K. Abe, "Topological structural analysis of digitized binary images by border following," *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, vol. 30, no. 1, pp. 32-46, 1985.
- [14] A. Fitzgibbon, M. Pilu ve R. B. Fisher, "Direct least square fitting of ellipses," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 21, no. 5, pp. 476-480, 1999.
- [15] OpenCV Documentation – Contours and Shape Analysis. [Online]. Available: <https://docs.opencv.org>, Erişim tarihi: 01.03.2025.
- [16] L. A. Zadeh, "Fuzzy sets," *Information and Control*, vol. 8, no. 3, pp. 338-353, 1965.
- [17] D. Driankov, H. Hellendoorn ve M. Reinfrank, *Fuzzy Control: An Introduction for the Engineer and Practitioner*, 2nd ed., Springer, 1996.
- [18] C. C. Lee, "Fuzzy logic in control systems: fuzzy logic controller—Part I," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 20, no. 2, pp. 404-418, 1990.
- [19] J. Yen ve R. Langari, *Fuzzy Logic: Intelligence, Control, and Information*, 1st ed., Prentice Hall, 1999.

LAZER IŞIN KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLEN İNCE KESİTLİ NİKEL ALAŞIMININ KARAKTERİZASYONU

Hasan Atik

Kocaeli Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü, Havacılık Bilimi ve Teknolojileri
hasanatik190355@gmail.com, ORCID: 0009-0000-5866-2726

Doç.Dr.Mustafa Tümer

Kocaeli Üniversitesi / Uzunçiftlik Nuh Çimento Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri
mustafa.tumer@kocaeli.edu.tr, ORCID: 0000-0002-1931-4750

Özet

Inconel 625, yüksek korozyon direnci ile beraber yüksek sıcaklık servis şartları gerektiren uygulamalarda yaygın olarak kullanılan nikel bazlı katı çözeltiliyle güçlendirilmiş alaşımdır. Ostenit fazından oluşan mikroyapısı, katı çözeltili güçlendirmesi sağlayan Cr ve Mo gibi ek alaşım elementleri ile güçlendirilmiştir. Havacılık endüstrisinde, sahip olduğu üstün özellikler sayesinde yaygın olarak tercih edilir. Yüksek sıcaklıklarda mekanik özelliklerini koruma kabiliyeti, uçak motorları ve egzoz sistemleri gibi yüksek ısıya maruz kalan kritik bileşenlerde kullanılmasını sağlar. Bu çalışma kapsamında, Lazer Işın Kaynak yöntemi kullanılarak ilave metal kullanarak ve kullanılmaksızın Inconel 625 malzemeler birleştirilmiştir. Elde edilen birleştirmenin makro ve mikroyapısal değerlendirilmesi ile mukavemet üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Uygulanan çekme testleri sonucunda her iki birleştirme yakın akma dayanımına sahip olsa bile çekme dayanımlarında ERNiCrMo-3 ile elde edilen numunelerde belirgin bir mukavemet artışı meydana gelmiştir. Mikroyapılar incelendiğinde kaynak metali katılaşması sırasında interdendritik Nb segregasyonu ve buna bağlı olarak Nb açısından zengin, kırılğan, intermetalik Laves fazının oluşumu otojen birleştirmede ince tane yapısı ile kendini göstermektedir. Bu durum otojen birleştirmede mukavemetin azalmasına neden olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Lazer Işın Kaynağı, Mikroyapı, Mukavemet, İntermetalik Faz

CHARACTERIZATION OF THIN WALLED NICKEL ALLOY JOINED BY LASER BEAM WELDING

Abstract

Inconel 625 is a nickel-based, solid solution-strengthened alloy that is widely used in applications requiring high corrosion resistance along with high-temperature service conditions. Its microstructure, composed of the austenite phase, is strengthened by additional alloying elements such as chromium (Cr) and molybdenum (Mo), which provide solid solution strengthening. It is widely preferred in the aerospace industry due to its superior properties. Its ability to maintain mechanical properties at elevated temperatures allows it to be used in critical components exposed to high heat, such as aircraft engines and exhaust systems. In this study, Inconel 625 materials were joined using the Laser Beam Welding (LBW) method, both with and without filler metal. The macrostructural and microstructural evaluation of the resulting joints and their effects on mechanical strength were investigated. As a result of the tensile tests, although both types of joints exhibited similar yield strength, a significant increase in tensile strength was observed in the samples welded with ERNiCrMo-3 filler metal. Upon examination of the microstructures, interdendritic niobium (Nb) segregation during the solidification of the weld metal and the subsequent formation of a brittle, Nb-rich intermetallic Laves phase became evident in the autogenous welds, characterized by a fine-grained structure. This led to a reduction in strength in the autogenous joints.

Keywords: Laser Beam Welding, Microstructure, Strength, Intermetallic Phase

1. GİRİŞ

Inconel 625, çözelti sertleştirmesiyle güçlendirilmiş bir nikel esaslı süper alaşımdır ve genellikle 800 °C altındaki, bazı durumlarda ise 1200 °C altındaki sıcaklıklarda, orta seviyede mukavemet ile mükemmel korozyon direncinin birlikte gerektiği uygulamalarda yaygın olarak kullanılır (Xing, Di, and Wang 2014). Gaz türbinlerinde yanma odaları ve kanalları ile jet motorları, havacılık ve uzay endüstrisi ve genellikle yüksek sıcaklık korozyon direncinin gerekli ve önemli olduğu birçok diğer alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Li, Huang, and Wu 2014). Fakat bu malzemelerin birleştirilmesinde intermetalik Laves fazının ve NbC (Naffakh, Shamanian, and Ashrafizadeh 2010) tipi karbürlerin çökmesi nedeniyle kaynak metalinin sertliği artar, ancak toklukta bir azalma kaçınılmazdır. Laves, A₂B (A: Cr, Fe, Ni / B: Nb, Ti, Mo) şeklinde oluşan bir intermetalik fazdır (Karahan, Mert, and Kerimak 2019). Ni-Cr-Mo alaşımındaki alaşım elementlerinin mikro ayrışmasının katılaşma sırasında daha hızlı soğuma hızı elde ederek azaltılabileceğini bildiren birçok literatür türü vardır (Manikandan et al. 2017; Manikandan, Arivazhagan, Nageswara Rao, et al. 2015; Manikandan, Arivazhagan, Rao, et al. 2015). Soğuma hızı, darbeli akım gaz tungsten ark kaynağı, lazer ve elektron ışın kaynağı tekniği gibi yüksek yoğunluklu kaynak işlemi ile elde edilebilir (Arulmurugan and Manikandan 2017). Lazer ışın kaynağı kullanılarak gerçekleştirilen bu çalışmada, önceki çalışmalardan farklı olarak hızlı soğuma ve düşük ısı girdisinin Inconel 625 alaşımı üzerindeki etkileri değerlendirilecektir. Bunun yanı sıra, ilave metal kullanımının birleştirme performansına etkisi de incelenecektir.

2. MATERYAL VE METOD

Inconel 625 süper alaşım malzemelerin birleştirilmesi Lazer Işın Kaynak yöntemi ile yapılmıştır. Birleştirme esnasında SINOMAK marka fiber lazer kaynak makinası kullanılmıştır. Kaynak işlemi esnasında kaynak ve kök bölgesi Argon gazı ile korunmuştur (Şekil 1). Otojen ve ilave metal kullanılarak yapılan birleştirmelerde uygulanan kaynak parametreleri Tablo 1’de verilmiştir. Ayrıca ana malzeme ve kullanılan ilave metale ait kimyasal içerik Tablo 2’de verilmiştir.



Şekil 1. Birleştirme düzeneği

Tablo 1. Kaynak parametreleri

Proses	Tepe gücü (A)	Tarama genişliği (mm)	Kaynak hızı (mm/s)	Tel sürme hızı (cm/min)
ERNiCrMo-3	300	2	5.12	20
Otojen	300	2	5.33	-

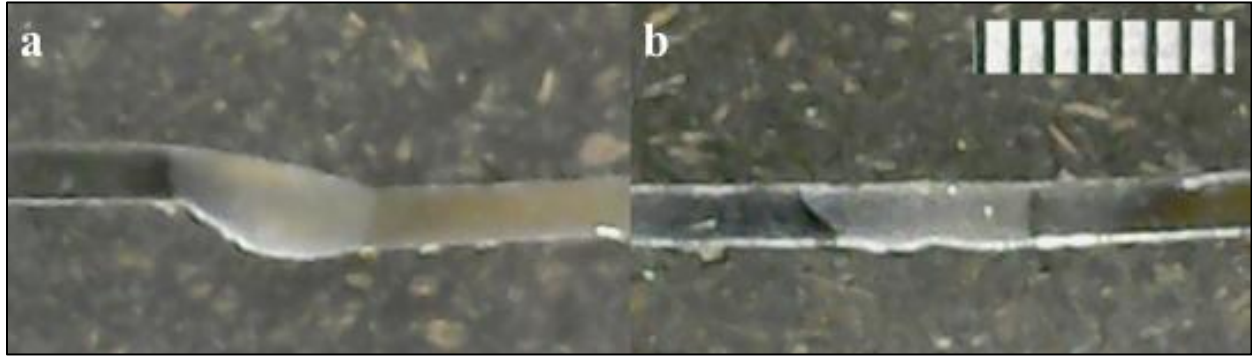
Tablo 2. Ana malzeme ve ilave metalin kimyasal kompozisyonu (% ağırlık)

Elementler	Ni	Cr	Mo	Fe	Nb
Inconel 625	61.1	20.83	8.24	4.45	3.34
ERNiCrMo-3	64	22	9	1	3.5

Çekme deneyleri enine çekme deneyi şeklinde uygulanmıştır. Lazer kaynaklı bağlantılardan EN ISO 6892-1'e uygun olarak hazırlanan numuneler, Zwick/Roell Z250 marka deney cihazı ile çekme hızı 4 mm/dak uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Birleştirilen levhaların her birinden 2'şer adet çekme numunesi çıkarılmıştır. Birleştirilen numunelerden çıkarılan numuneler bakalitlenerek zımparalama ve parlatma işlemine tabi tutulmuştur. Mikroskobik incelemeye hazır hale getirilen numuneler, östenitik yapı için %10 oksalik çözeltisinde 1,5 A ve 15 V 'ta 10 sn tutularak elektrolitik olarak dağlanmış. Elde edilen dağlanmış bölgelerin mikroyapıları optik mikroskop (OM) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir. EDS (Elektron dağılımlı spektroskopi) analizleri numunelerin ergime bölgelerindeki Laves fazlarına uygulanmıştır.

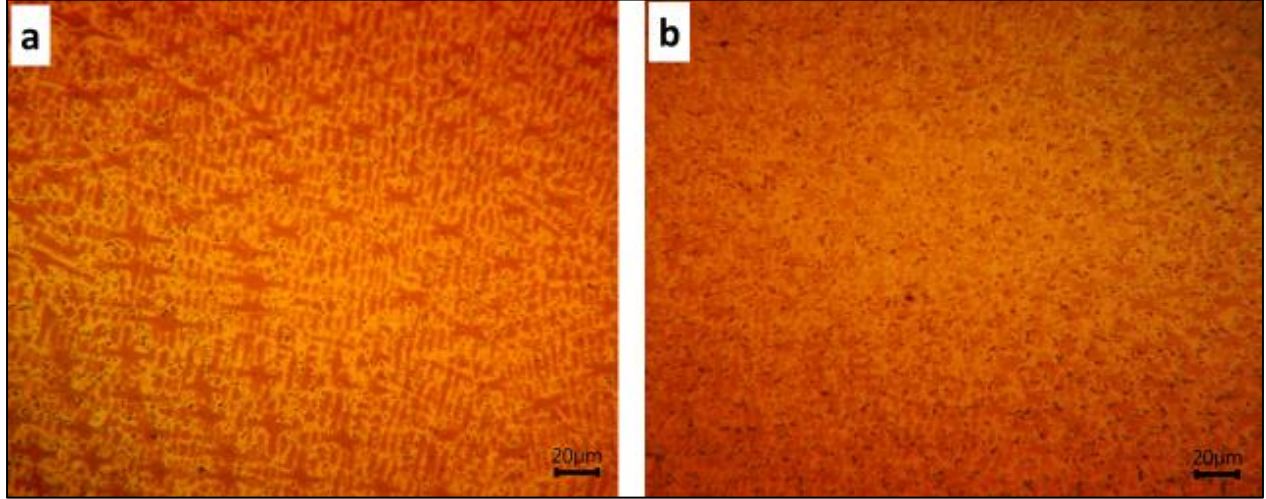
3. SONUÇ

Lazer kaynak yöntemi kullanılarak ilave metal kullanılarak ve kullanmaksızın yapılan birleştirmelere ait makrograflar Şekil 2'de verilmiştir. Birleştirmelerde herhangi bir ergime noksanlığı, gözenek veya çatlak gibi süreksizlikler bulunmamaktadır. Sadece ERNiCrMo-3 ilave metali kullanılarak yapılan birleştirmede hizalama hatası bulunmaktadır. İlave metal kullanılması kaynak metali hacmini belirgin şekilde artırmıştır.

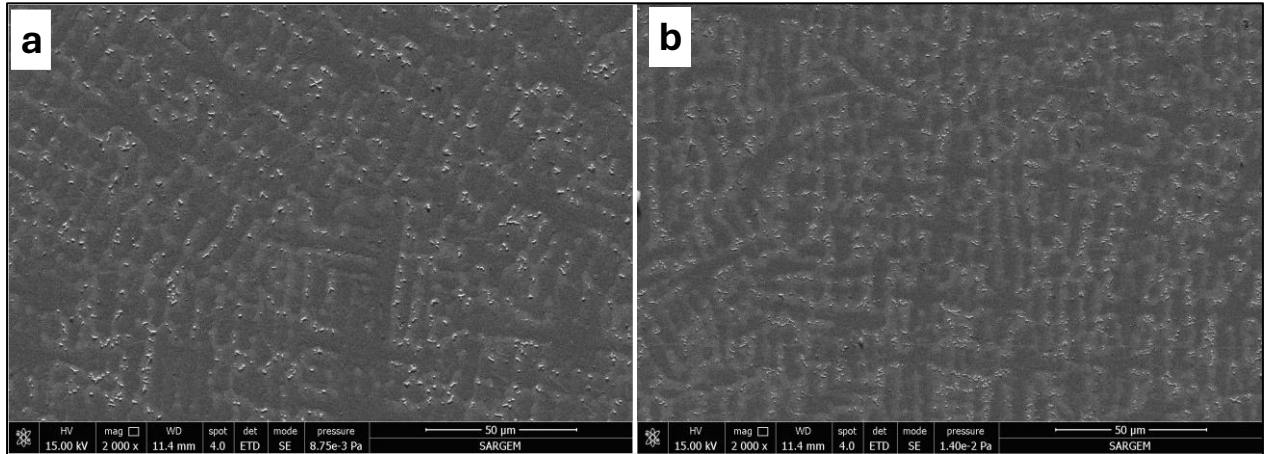
**Şekil 2.** Birleştirmenin makro görüntüsü a) ERNiCrMo-3 b) Otojen

Otojen birleştirmelerde sadece ana malzeme ergir ve katılaşır. Sıvı fazın bileşimi ana malzeme ile aynıdır. Sıvı metal içerisinde karışımın homojenliğini bozacak yabancı elementler olmadığı için katı-sıvı arayüzeyi dışında sıvı içinde de çekirdeklenme başlar ve bu durum aşırı yapısal soğumaya neden olabilir. Bu da daha ince tanelerin oluşumu olarak karşımıza çıkar. Fakat bu durum elementel içeriğin sağladığı katkı nedeni ile karbür ve intermetalik çökelmelerin oluşumunu engelleyemez. İlave metal (ERNiCrMo-3) kullanıldığı zaman, ana malzemeden meydana gelen seyrelme ve ilave metalin katılaşması sonucu meydana gelen kaynak metalinin katılaşma sırasında az da olsa kimyasal heterojenlik mevcuttur. Bazı elementlerin varlığı (Nb, Mo, Ti, C) sıvı fazda element segregasyonu ile yoğunlaşabilir ve bu durum çekirdeklenmeyi baskılayarak tane büyümesine yol açar. Şekil 3'te OM ve Şekil 4'te SEM görüntüsü gösterilmiştir. ERNiCrMo3 ilave metali ile gerçekleştirilen birleştirmenin süreksiz eş eksenli dentritlerden ve otojen

birleştirmeye göre daha kaba tanelerden oluştuğu gözlemlenmektedir. Daha çok dentritlerin içinde yer alan açık renkli fazların Laves fazlarını temsil ettiği ve ilave metal kullanılarak yapılan birleştirmede otojen yapıdaki birleştirmenin ergime bölgesine göre daha seyrek dağılım gösterdiği tespit edilmiştir.



Şekil 3. Ergime bölgesinin OM mikroyapı görüntüsü a) ERNiCrMo-3 b) Otojen

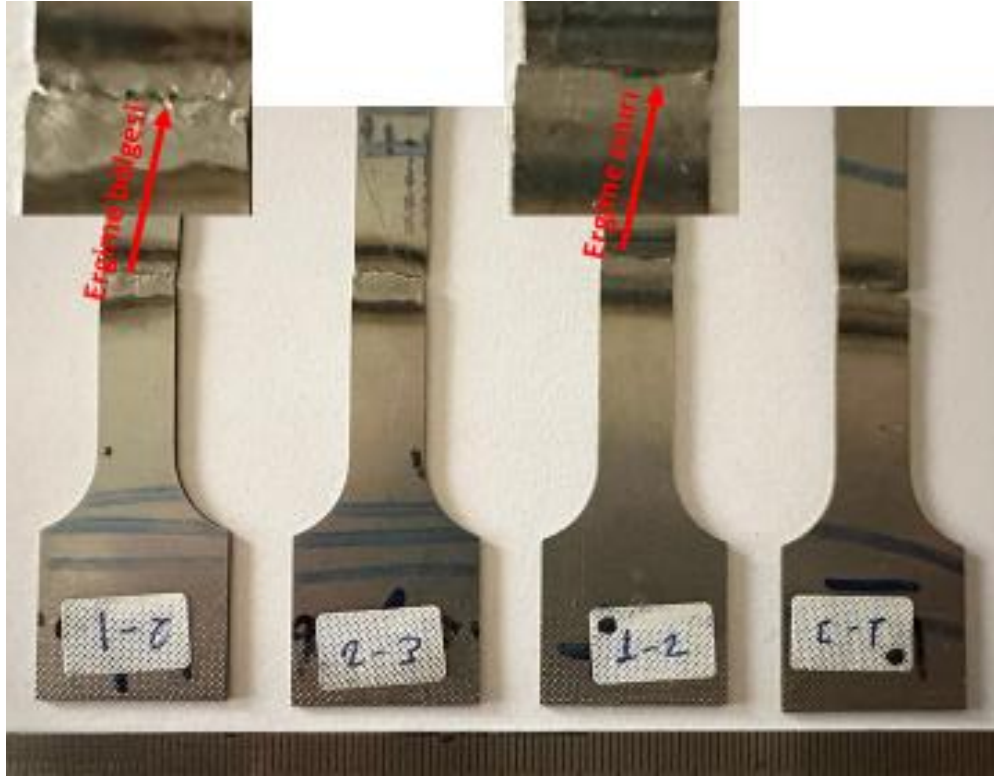


Şekil 4. Ergime bölgesinin SEM mikroyapı görüntüsü a) ERNiCrMo-3 b) Otojen

Otojen birleştirmede sadece ana malzeme ergidiği ve kimyasal içeriğin homojenliği yüksek olduğu için tane yapısı daha incedir fakat karbür (NbC) ve intermetalik (Laves) çökelmelerin bu taneler içinde oluşması (mikroyapı içerisinde siyah noktasal bölgeler) tane sınırlarında gevreklemeye neden olarak sünekliğin düşmesine ve kırılmanın ergime bölgesinde başlamasına neden olmuştur (Şekil 5). Fakat buna rağmen her iki birleştirmenin akma dayanımları birbirine yakın ve ana malzeme değerinden (min. 414 MPa) daha üstün değerlere sahiptir. Belirgin farklar çekme dayanımlarında meydana gelmiştir. En yüksek çekme dayanımı 907 ± 6 MPa ile ERNiCrMo-3 ile elde edilen birleştirmede elde edilirken otojen birleştirmede ilave metal kullanılarak yapılan birleştirmeye göre daha düşük dayanım elde edilmiştir (851 ± 13 MPa). Otojen ile elde edilen birleştirmede çekme dayanımı düşük olmasına rağmen ana malzemenin minimum değerleri üzerindedir (min. 827 MPa). İlave metalli birleştirme %20,5 kopma uzaması ile daha yüksek süneklik göstermiştir; otojen birleştirmede ise bu değer %15,7 ile sınırlı kalmıştır. Tablo 3'te tüm numunelere ait çekme testi sonucu elde edilen veriler verilmiştir.

Tablo 3. Çekme testi sonuçları

Numuneler	Akma Dayanımı	Çekme Dayanımı	Maksimum Kuvvet	Uzama	Kopma Yeri
	$R_{p0.2}$ (MPa)	R_m (MPa)	F_m (kN)	A_5 (%)	
ERNiCrMo-3/1	562,5365316	912,2062833	7,396259766	20	Ergime sınırı
ERNiCrMo-3/2	616,5470231	903,4699979	7,362015625	21	Ergime sınırı
Otogen/1	523,1545017	842,1453503	6,723688477	14,8	Ergime bölgesi
Otogen/2	523,5794643	860,4511655	6,862958496	16,6	Ergime bölgesi

**Şekil 5.** Çekme test numunelerinin kırılma sonrası görüntüleri

4. TARTIŞMA

Havacılıkta önemli bir kullanım alanı bulunan, ince kesitli Inconel 625 alaşımı otojen ve ilave metal kullanılarak lazer kaynak yöntemi ile birleştirilmiştir. Birleştirme bölgesine uygulanan mekanik ve mikroyapı testleri sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- İlave metal kullanımı, kaynak bölgesinin hacmini belirgin şekilde artırırken her iki birleştirmede de hacimsel kaynak kusuru tespit edilmemiştir.

- İlave metal kullanılan birleştirmede element segregasyonu nedeniyle daha iri taneler oluşurken otojen birleştirmede kimyasal homojenlik ve yüksek çekirdeklenme yoğunluğu daha ince taneli bir mikroyapı ile sonuçlanmıştır.
- ERNiCrMo-3 ilave metali ile yapılan birleştirme, otojen birleştirmeye kıyasla daha yüksek çekme dayanımı ve süneklik göstererek mekanik performans açısından daha üstün özellikler sergilemiştir.

TEŞEKKÜR

Lazer Işın Kaynak yöntemi için destek sağlayan ESİT firmasına teşekkürü bir borç biliriz.

KAYNAKLAR

- Arulmurugan, B., and M. Manikandan. 2017. "Development of Welding Technology for Improving the Metallurgical and Mechanical Properties of 21st Century Nickel Based Superalloy 686." *Materials Science and Engineering A* 691(December 2016): 126–40. doi:10.1016/j.msea.2017.03.042.
- Karahan, Tuba, Tolga Mert, and Zaim Mithat Kerimak. 2019. "Microstructural Analysis of Inconel 625 Nickel Alloy / UNS S31803 Duplex Stainless-Steel Dissimilar Weldments." *ADVANCED TECHNOLOGIES AND MATERIALS* 44(1): 15–19.
- Li, Gang, Jian Huang, and Yixiong Wu. 2014. "An Investigation on Microstructure and Properties of Dissimilar Welded Inconel 625 and SUS 304 Using High-Power CO₂ Laser." *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 76(5–8): 1203–14. doi:10.1007/s00170-014-6349-7.
- Manikandan, M., N. Arivazhagan, M. Arivarasu, K. Mageshkumar, Deva N. Rajan, B. Arul Murugan, P. Prasanth, S. Sukumar, and R. Vimalanathan. 2017. "Analysis of Metallurgical and Mechanical Properties of Continuous and Pulsed Current Gas Tungsten Arc Welded Alloy C-276 with Duplex Stainless Steel." *Transactions of the Indian Institute of Metals* 70(3): 661–69. doi:10.1007/s12666-017-1045-6.
- Manikandan, M., N. Arivazhagan, M. Nageswara Rao, and G. Madhusudhan Reddy. 2015. "Improvement of Microstructure and Mechanical Behavior of Gas Tungsten Arc Weldments of Alloy C-276 by Current Pulsing." *Acta Metallurgica Sinica (English Letters)* 28(2): 208–15. doi:10.1007/s40195-014-0186-4.
- Manikandan, M., N. Arivazhagan, M. Nageswara Rao, and G. M. Reddy. 2015. "Microstructure and Mechanical Properties of Alloy C-276 Weldments Fabricated by Continuous and Pulsed Current Gas Tungsten Arc Welding Techniques." *Journal of Manufacturing Processes* 16(4): 563–72. doi:10.1016/j.jmapro.2014.08.002.
- Naffakh, H., M. Shamanian, and F. Ashrafizadeh. 2010. "Microstructural Evolutions in Dissimilar Welds between AISI 310 Austenitic Stainless Steel and Inconel 657." *Journal of Materials Science* 45(10): 2564–73. doi:10.1007/s10853-010-4227-8.
- Xing, Xixue, Xinjie Di, and Baosen Wang. 2014. "The Effect of Post-Weld Heat Treatment Temperature on the Microstructure of Inconel 625 Deposited Metal." *Journal of Alloys and Compounds* 593: 110–16. doi:10.1016/j.jallcom.2013.12.224.

ÜRETKEN YAPAY ZEKÂ DESTEKLİ KULLANICI ARAYÜZÜ TASARIMI

Atamer Başmanav

Sakarya Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Bilişim Sistemleri Mühendisliği

atamer.basmanav1@ogr.sakarya.edu.tr, ORCID: 0009-0008-0700-6110

Özet

Bu çalışma, üretken yapay zekâ (GenAI) teknolojilerinin kullanıcı arayüzü (UI) tasarımına çok boyutlu katkılarını incelemektedir. GenAI araçlarının sadece içerik üretimini değil, stratejik karar alma, problem çözme ve kullanıcı deneyimini iyileştirme gibi alanlarda da etkili olduğu görülmüştür. Hızlı prototipleme, kullanıcı içgörüsü üretme ve yinelemeli tasarımı destekleme becerileri, geleneksel yöntemlere göre önemli avantajlar sunmaktadır. Ancak bağlamsal farkındalık eksikliği, veri güvenliği, etik sorunlar ve yaratıcılığın yüzeyselleşmesi gibi sınırlılıklar da bulunmaktadır. Çalışma, GenAI sistemlerinin daha açıklanabilir, güvenilir ve bağlama duyarlı hale getirilmesi gerektiğini vurgulamakta; ayrıca tasarımcılara yönelik yapay zekâ okuryazarlığı eğitimlerinin önemine dikkat çekmektedir. Sonuç olarak, insan yaratıcılığı ile yapay zekâ gücünü dengeleyen, etik ve kullanıcı odaklı tasarım süreçlerinin geliştirilmesi önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Üretken yapay zekâ, kullanıcı arayüzü tasarımı, insan merkezli tasarım, GenAI, UX, yapay zekâ iş birliği.

GENERATIVE AI-SUPPORTED USER INTERFACE DESIGN

Abstract

This study examines the multifaceted contributions of generative artificial intelligence (GenAI) technologies to user interface (UI) design. It has been observed that GenAI tools are effective not only in content generation but also in areas such as strategic decision-making, problem-solving, and enhancing user experience. Capabilities such as rapid prototyping, generating user insights, and supporting iterative design offer significant advantages over traditional methods. However, limitations such as lack of contextual awareness, data security concerns, ethical issues, and the potential for superficial creativity remain present. The study emphasizes the need for GenAI systems to become more explainable, reliable, and context-sensitive, and highlights the importance of AI literacy training for designers. In conclusion, it is recommended that ethical and user-centered design processes that balance human creativity with the power of artificial intelligence be developed.

Keywords: Generative AI, user interface design, human-centered design, GenAI, UX, human-AI collaboration.

1. GİRİŞ

Üretken Yapay Zekâ (GenAI), girdilerden yola çıkarak metin, görüntü, video ve ses gibi çeşitli çıktılar üretebilen, derin öğrenme temelli yapay zekâ modelleri ve bu modelleri kullanan araçlar olarak tanımlanmaktadır (Chaudhry, 2024). 2024 yılı itibarıyla GenAI kullanımında belirgin bir artış yaşanmıştır. Katılımcıların %71'i, kuruluşlarının en az bir iş fonksiyonunda GenAI'yı düzenli olarak kullandığını belirtmiştir. Bu oran 2024'ün başındaki %65'lik orana kıyasla artış göstermektedir. Bu durum, yapay zekâ teknolojilerinin iş dünyasında giderek daha yaygın hale geldiğini göstermektedir (Singla, Sukharevsky, Yee, Chui, & Hall, 2025). Üretken Yapay Zekâ pazarının büyüklüğünün 2025 yılında 66,89 milyar ABD dolarına ulaşması ve yıllık %36,99 büyüme oranı (CAGR 2025–2031) ile 2031 yılında 442,07 milyar ABD doları hacme ulaşması beklenmektedir. Bu veriler, üretken yapay zekânın küresel ekonomideki artan önemine işaret etmektedir (Statista, 2024).

GenAI, çeşitli yaratıcı görevleri yerine getirerek tasarımcıların yaratıcı süreçlerine katkıda bulunabilir. Tasarım süreçlerini hızlandırmakla birlikte üretkenliği ve verimliliği arttırabilir (Li, ve diğerleri, 2024).

Gelecekte yapay zekâ araçlarının tasarımcıların yaratıcılığını desteklemesi ve geliştirmesi beklenmektedir. Böylelikle, GenAI tasarım süreçlerinde aktif olarak işlev gören, tasarımcıların geri bildirimlerine ve tercihlerine uyum sağlayan birer araç olarak kullanılabilecektir (Chaudhry, 2024). McKinsey & Company, yapay zekâ destekli tasarım otomasyonunun 2030 yılına kadar yaklaşık 300 milyar dolarlık bir değer yaratacağını öngörmektedir. Bu tahmin, yapay zekânın tasarımcılarla güçlü bir iş birliği kurarak tasarım süreçlerini dönüştüreceğini göstermektedir (K S, 2024). Adobe tarafından yapılan yakın tarihli bir araştırma, tasarımcıların %62'sinin yapay zekâ ve bu teknolojilerin yaratıcı süreçlere sağladığı katkılara olumlu baktığını göstermektedir (Varhatiuk, 2025). Adobe tarafından gerçekleştirilen bir ankete göre, tasarımcıların %80'i yapay zekânın yaratıcılık ve üretkenliklerini artıracağına inanmaktadır. Gartner ise 2025 yılına kadar yapay zekânın müşteri etkileşimlerinin %95'ini yönlendireceğini öngörerek, bu teknolojinin UX/UI tasarımında kritik bir rol üstleneceğini belirtmektedir. Bu veriler, UX/UI tasarımcılarının yapay zekâdan etkin şekilde yararlanmalarının mesleki başarı açısından kritik olduğunu ortaya koymaktadır (Carreiro, 2023).

2. KULLANICI ARAYÜZÜ TASARIMINDA ÜRETKEN YAPAY ZEKÂNIN ROLÜ VE POTANSİYELİ

2.1. Kullanıcı Arayüzü Ve Kullanıcı Deneyimi Tasarımı

Kullanıcı arayüzü (UI), kullanıcılar ile bilgisayar sistemleri arasında etkileşim sağlayan temel bir köprüdür. Arayüz tasarımı, sezgisellik, etkinlik, öğrenilebilirlik ve esneklik gibi temel kullanılabilirlik prensiplerine dayanır. UI tasarımı aynı zamanda, etkili bir kullanıcı deneyimi (UX) sağlama amacı taşıyan unsurları da bünyesinde barındırır (Kim, Ignacio, Yu, Jin, & Kim, 2024). UI ve UX arasındaki ilişki ise şöyledir; UI, kullanıcının bir sistemle etkileşim kurduğu araçtır, UX ise bu aracı kullanırken yaşadığı genel algı, duygu ve etkileşimlerin bütünüdür. İyi bir kullanıcı deneyimi, etkili ve kullanıcı dostu bir arayüzün yanı sıra kullanıcının ihtiyaçlarını ve beklentilerini karşılayan bir tasarım gerektirir (Huang, ve diğerleri, 2024). Geleneksel arayüz tasarımı süreçleri, kullanıcı ihtiyaçlarının derinlemesine anlaşılmasında, hızlı ve verimli iterasyonların sağlanmasında ve disiplinler arası iş birliğinde çeşitli zorluklar ortaya çıkarmaktadır. Bu durum, süreçlerin zaman alıcı olmasına ve yenilikçi çözümler üretmenin güçleşmesine neden olmaktadır (Kamnerddee, Putjorn, & Intarasirisawat, 2024).

2.2. Kullanıcı Arayüzü Tasarımında Üretken Yapay Zekânın Potansiyel Faydaları ve Sınırları

Potansiyel Faydalar	Sınırlar
•İçerik Üretimi •Hızlı Prototipleme •Kullanıcı İçgörüsü Oluşturma •Verimlilik ve Zaman Yönetimi •İlham ve Fikir Geliştirme	•Bağlamsal Farkındalık Eksikliği •Şeffaflık ve Güven Sorunları •Etik Tasarım İlkeleri •Etkili İstem (prompt) Yazma Zorluğu •İleri Düzey Tasarım Görevlerinde Yetersizlik

Şekil 1. GenAI Potansiyeli ve Sınırları

GenAI, arayüz tasarım süreçlerinde tekrarlayan görevleri otomatikleştirerek verimliliği arttırabilir, yeni fikirler sunabilir ve karmaşık görevlerde destek sağlayabilir (Li, ve diğerleri, 2024). Tasarımcılar, bu araçları özellikle tasarım sürecin erken aşamalarında beyin fırtınası yapmak ve fikirleri hızlıca görselleştirmek için tercih etmektedir. Görsel üretim araçları sayesinde hızlı prototipleme ve yineleme imkânı sağlarken, mevcut GenAI sistemlerinin ileri düzey tasarım görevlerinde sınırlı kaldığı da belirtilmektedir (Takaffoli, Li, & Mäkelä, 2024). Tasarımcılar, GenAI araçlarının doğruluğu, güvenilirliği ve verimliliği konusunda çekincelere sahiptir. Bu nedenle insan girdisi ve denetiminin gerekli olduğunu vurgulamaktadırlar. Deneyimli tasarımcılar, GenAI'yı yardımcı bir araç olarak görsel üretim ve keşif

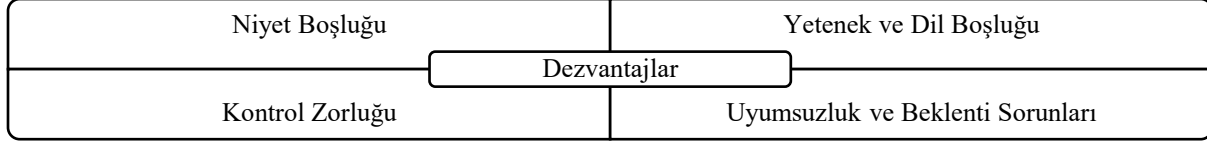
aşamalarında kullanılmaktadır. Ancak, yaratıcılık, özgünlük ve kullanıcı empatisi gibi alanlarda insan katkısının vazgeçilmez olduğunu vurgulamaktadır. Gelecekte GenAI'nın daha sezgisel, görsel odaklı ve iş birliğine açık sistemlere dönüşmesi beklenmektedir (Li, ve diğerleri, 2024). Bu doğrultuda GenAI, kullanıcı arayüzü prototiplemesi, görsel ve metinsel içerik üretimi, tasarım alternatiflerinin hızlı keşfi gibi süreçlerde önemli katkılar sunmaktadır. Belirli bir stile uygun ikon, illüstrasyon veya metin üretimi ile tekrarlayan süreçleri kolaylaştırarak, daha fazla alternatifin keşfini mümkün kılar (Kim, Ignacio, Yu, Jin, & Kim, 2024) (Kamnerddee, Putjorn, & Intarasirisawat, 2024). Ayrıca, veri analizi, içerik özetleme ve yapay kullanıcı simülasyonu gibi araştırma odaklı görevlerde de işlevsel rol oynayabilir (Takaffoli, Li, & Mäkelä, 2024). Kullanıcı davranışlarına ilişkin içgörüler sunarak daha doğru personalar, yolculuk haritaları ve kullanıcı odaklı arayüzlerin geliştirilmesine katkı sağlar (Kamnerddee, Putjorn, & Intarasirisawat, 2024). Arayüz tasarımlarını tasarım yönergelerine göre renk kontrastı, hizalama ve tutarlılık gibi unsurların otomatik değerlendirilmesiyle kullanıcı deneyimi iyileştirilebilir. Bununla birlikte, doğruluk, güvenilirlik ve bağlamsal farkındalık gibi yönlerin geliştirilmesi, GenAI'nın potansiyelinden tam anlamıyla yararlanılmasını sağlayacaktır (Väisänen, 2024). GenAI, eski arayüzlerin modernizasyonu, düzenlenebilir UX modellerinin oluşturulması ve mockup'tan doğrudan kod üretimi gibi uygulamalarla kaynak tasarrufu sağlayabilir (Houde ve diğerleri, 2022). Verimli çıktılar için kaliteli istemler gerekir. GenAI'nın etkili kullanımı, doğru yönlendirme ve tasarımcıların sezgisel katkılarıyla mümkündür. GenAI, insan merkezli bir yaklaşımla desteklenmediğinde kullanıcı ihtiyaçlarını tam olarak yansıtamayabilir. İnsan ve yapay zekâ iş birliği bu nedenle kritik bir öneme sahiptir (Huang, ve diğerleri, 2024). Tüm bu katkılar bir arada değerlendirildiğinde, GenAI yalnızca üretim değil, keşif, analiz ve değerlendirme gibi işlevleriyle de arayüz tasarımı sürecine değer katmaktadır. Ancak, bağlamsal farkındalık eksikliği, doğrusal olmayan tasarım süreçlerine uyumsuzluk ve aşırı yapay zekâ kullanımının olumsuz etkileri gibi sınırlar da göz ardı edilmemelidir. Bu nedenle, yapay zekâ araçlarının destekleyici rolü öne çıkarılmalı ve insan merkezli tasarım anlayışı korunmalıdır. Gelecekteki çalışmalar, GenAI'nın bağlamsal ve işbirlikçi yeteneklerinin geliştirilmesine odaklanmalıdır (Bauer, 2024).

2.3. Geleneksel Yöntemlere Göre Üretken Yapay Zekânın Avantajları ve Dezavantajları

Yaratıcılığı Teşvik Etme	Tekrarlayan Görevleri Otomatikleştirme
Avantajlar	
Karar Alma Süreçlerine Destek Olma	Sezgisel ve Etkileşimli Arayüzler

Şekil 2. GenAI Avantajları

GenAI destekli kullanıcı arayüzü tasarımı, geleneksel yöntemlere kıyasla çeşitli avantajlar sunmaktadır. GenAI, kullanıcı arayüzü tasarımında yaratıcılığı teşvik ederek, tasarımcıların hızlı ve çeşitli görsel fikirler üretmelerine olanak tanır. Ayrıca, tekrarlayan görevlerin otomatikleştirilmesi ve tasarım süreçlerinin ölçeklenebilirliğini artırarak verimlilik sağlar. Kullanıcı verilerine dayalı karar alma, kullanıcı odaklı tasarım çıktıları elde edilmesini kolaylaştırırken, hızlı prototipleme ve erken geri bildirim, çevik ve iteratif tasarım süreçlerini teşvik eder. GenAI, UX süreçlerinde veri analizi ve kullanıcı içgörülerini elde etme gibi işlevlerle tasarım kararlarını güçlendirir (Takaffoli, Li, & Mäkelä, 2024). GenAI, kullanıcı davranışlarını analiz ederek sezgisel ve etkileşimli arayüzler tasarlayarak, kullanıcı etkileşimlerini daha doğal ve verimli hale getirir (Kim, Ignacio, Yu, Jin, & Kim, 2024). Bu bağlamda, GenAI araçları yalnızca üretim sürecine katkı sağlayan araçlar değil, aynı zamanda stratejik birer tasarım ortağı olarak değerlendirilmektedir (Takaffoli, Li, & Mäkelä, 2024).



Şekil 3. GenAI Dezavantajları

GenAI araçları, kullanıcı arayüzü tasarımında potansiyel avantajlar sunarken, tasarımcılar için bazı zorluklar da yaratmaktadır. Doğru ve etkili istemlerin formüle edilmesi, özellikle yapay zekâ konusunda uzman olmayan tasarımcılar için zor olabilir. Niyet, yetenek ve dil boşluğu gibi kavramlar, yapay zekâ ile verimli etkileşimde engeller oluşturabilir. Ayrıca, yapay zekâ araçları yaratıcı süreci değiştirebilir ve tasarımcıların kontrolünü sınırlandırabilir. Bu zorlukları aşmak için istem mühendisliği ve multimodal etkileşim araçları geliştirilmelidir. Bununla birlikte, kullanıcı kontrolü ve şeffaflık arasındaki dengeyi sağlamak, bu teknolojilerin tasarım süreçlerinde daha etkili kullanılabilmesi için kritik bir faktör olarak öne çıkmaktadır (Peng, Koch, & Mackay, 2024).

3. KULLANICI ARAYÜZÜ TASARIMINDA ÜRETKEN YAPAY ZEKÂ İŞ BİRLİĞİ

3.1. Üretken Yapay Zekâ İş Birliği İle Tasarımcıların Rollerini Nasıl Değiştiriyor



Şekil 4. Tasarımcıların Değişen Rollerini

Yapay zekâ araçlarının tasarım süreçlerine entegrasyonu, tasarımcıların rolünü önemli ölçüde dönüştürmektedir. GenAI'nın katkıları kabul görse de bu araçların sorunları çoğunlukla yüzeysel ele aldığı belirtilmektedir. Bu durum, derinlemesine problem çözme, bağlamsal değerlendirme ve eleştirel düşünme gibi becerilerin daha da önemli hale gelmesine neden olmaktadır. Tasarımcılar artık yalnızca yaratıcı karar vericiler değil, aynı zamanda GenAI ile iş birliği içinde çalışan, çıktıları sezgi, deneyim ve bağlam bilgisiyle anlamlı hale getiren stratejik aktörlerdir (Bauer, 2024). Etkili istem yazımı, GenAI'nın olanaklarını değerlendirme ve sonuçları eleştirel biçimde yorumlama gibi yeni yetkinlikler edinmeleri gerekmektedir (Takaffoli, Li, & Mäkelä, 2024). Tasarımcılar ayrıca, GenAI'nın potansiyelinden tam anlamıyla yararlanamadığını, bu nedenle teknik bilgi, etik farkındalık ve yasal düzenlemeler konusunda kapsamlı eğitime ihtiyaç duyduklarını ifade etmektedir (Chaudhry, 2024). GenAI çıktıları etkileyici olsa da bağlamsal sezgi ve empati gibi insan odaklı tasarım nitelikleri yapay zekâdan beklenmemektedir. Bu nedenle, kullanıcı ihtiyaçlarını anlama ve empati kurma hâlâ tasarımcıların temel sorumluluğudur (Kamnerddee, Putjorn, & Intarasirisawat, 2024). Yapay zekâ ile etkili bir iş birliği, yalnızca içerik üretimi değil, aynı zamanda doğru araç seçimi, stratejik entegrasyon ve etik denetim gibi görevleri de kapsamaktadır. Tasarımcıların yaratıcılık, sezgi ve eleştirel düşünme becerileri, yapay zekânın gelişimine rağmen merkezi önemini korumaktadır. Gelecekte, bağlamsal farkındalık ve geri bildirim yetenekleri gelişmiş GenAI sistemlerinin, insan-yapay zekâ etkileşimini daha da güçlendirmesi beklenmektedir (Bauer, 2024).

3.2. Tasarımcıların Üretken Yapay Zekâ İş Birliğine Yaklaşımları

Tasarımcıların GenAI teknolojilerine yaklaşımı genellikle iki yönlü bir tutum sergilemektedir. Bir yandan, bu araçların yaratıcılığı desteklediği ve iş akışlarını hızlandırdığı yönünde olumlu görüşler öne çıkmaktadır. Öte yandan, bu teknolojinin benimsenmesiyle birlikte çeşitli zorluklar da gündeme gelmektedir (Chaudhry, 2024). Tasarımcılar, tasarım süreçlerinin hızlanması ve tekrarlayan görevlerin otomatikleşmesi gibi

faidaların yanı sıra iş gücü kaybı, becerilerin azalması ve yaratıcılığın zayıflaması gibi risklerin farkındadır. GenAI'nın genç tasarımcılar üzerinde olumsuz etkiler yaratabileceği ve yaratıcı süreçler üzerinde tehdit oluşturabileceği endişeleri mevcuttur (Li, ve diğerleri, 2024). Yaygın endişeler arasında yapay zekâ uygulamalarının tasarım alanında iş kaybına yol açması, algoritmaların etik kullanımı, tarafsızlığı ve şeffaflığı gibi konular öne çıkmaktadır. Ayrıca, yapay zekâ araçlarının insan yaratıcılığı üzerindeki etkileri ve bu araçların tasarım süreçlerine entegrasyonu konusunda belirsizlikler yaşanmaktadır (Chaudhry, 2024). Deneyimli tasarımcılar, insan empatisi ve yaratıcılığının yapay zekâ ile tamamen ikame edilemeyeceğine inanmakta, ancak kullanıcı ihtiyaçlarını anlama ve kullanıcı deneyimini iyileştirme konusunda yapay zekânın katkılarını kabul etmektedir (Li, ve diğerleri, 2024). Sonuç olarak tasarımcılar, yapay zekâ destekli araçların UI/UX tasarım kalitesini artırma potansiyelini kabul etmekle birlikte, insan yaratıcılığı ve temel tasarım becerileri üzerindeki etkileri konusunda belirsizlikler yaşamaktadır. Bu durum, yapay zekâyâ temkinli ve sorgulayıcı bir iyimserlikle yaklaşımlarına ve daha fazla bilgi, eğitim ve yönlendirme ihtiyacı duymalarına yol açmaktadır. Bu bağlamda, tasarımcıların genel tutumları, tamamen olumlu bir bakış açısından ziyade temkinli ve sorgulayıcı bir iyimserlik çerçevesinde değerlendirilebilir (Chaudhry, 2024).

3.3. Yapay Zekâ İş Birliğini Verimli Hale Getirme



Şekil 5. Verimliliği Arttırma Yolları

İnsan ve yapay zekâ iş birliğinin verimliliğini artırmak için GenAI araçlarının çıktı kalitesi ve doğruluğunun geliştirilmesi, tasarımcıların çıktıları doğrulama ihtiyacını azaltarak verimliliği artacaktır. Ayrıca, daha güvenilir ve doğru çıktılar üretebilen GenAI sistemlerinin geliştirilmesi, iş birliğinin kalitesini de artıracaktır. Kullanıcıların etkili istem yazma becerileri kazanması, istenilen sonuçlara ulaşmayı kolaylaştırırken, gelişmiş hafıza yönetimi sayesinde proje yönetimini destekleyecektir. Eleştirel düşünmenin korunması için bilinçlendirme çalışmaları, güvenlik politikaları ve ekipler arası bilgi paylaşımı sağlanmalıdır. Ayrıca, AI sistemlerinde açıklanabilirliğin artırılması kullanıcı güvenini pekiştirecek, GenAI araçlarının popüler tasarım yazılımlarına entegrasyonu iş akışlarını daha etkin kılacaktır (Takaffoli, Li, & Mäkelä, 2024).

İnsan ve üretken yapay zekâ iş birliğinin geleceği hem olumlu beklentiler hem de dikkat edilmesi gereken önemli noktalar içermektedir. GenAI araçlarının güçlü birer yardımcıya dönüşmesi beklenirken, AI okuryazarlığının artması ve GenAI'nın grafik tasarım, akıllı bileşen üretimi ve kullanıcı araştırmaları gibi alanlarda etkin kullanılması öngörülmektedir. Ancak, tasarımcılar yaratıcı kontrolün korunması gerektiğini vurgulamaktadır. GenAI'nın artan kullanımı, junior tasarımcıların mesleki gelişim fırsatlarını kaybetme ve sadece istem yazarlarına dönüşme riski, mesleki sürdürülebilirlik açısından önemli bir kaygı olarak belirtilmektedir. Ayrıca, orijinallik, telif hakkı ve mülkiyet gibi etik sorunların yanı sıra, yapay zekânın yüksek hızda çıktı üretiminin tasarımcılar üzerinde baskı oluşturabileceği ifade edilmektedir. Sonuç olarak, UI/UX tasarımında insan ve yapay zekâ iş birliği, insan yaratıcılığı ve karar verme yetilerini destekleyen, etik sorumlulukları gözetken ve kullanıcıyı merkeze alan bir yaklaşımla sürdürülebilir şekilde geliştirilmelidir (Li, ve diğerleri, 2024).

4. TASARIM ARAÇLARINDA ÜRETKEN YAPAY ZEKÂ ENTEGRASYONU

4.1. Üretken Yapay Zekâ Destekli Tasarım Araçları ve Kullanım Şekilleri

GenAI, kullanıcı arayüzü tasarımında farklı araç ve platformlar ile etkin bir şekilde kullanılmaktadır. ChatGPT ve AutoGPT gibi metin tabanlı üretken yapay zekâ sistemleri, tasarım fikirlerinin geliştirilmesi, kullanıcı araştırması verilerinin analizi, metin içeriklerinin oluşturulması ve temel kod üretimi gibi çeşitli

görevlerde tasarımcılara destek sunmaktadır. Tasarımcılar, bu tür sistemlere yönelttikleri metin tabanlı istemler aracılığıyla özgün içerikler veya taslak çözümler elde edebilmektedir (Chaudhry, 2024). Özellikle ChatGPT, empati geliştirme ve problem analizi gibi süreçlerde kullanılmakta olup, ancak bağlamsal derinlik konusunda sınırlılıklar gösterebilmektedir. Cursor gibi platformlarla GPT entegrasyonu, bilgi sentezi ve teknik karar verme aşamalarında ek faydalar sağlamaktadır (Bauer, 2024). Sketch ve ProtoPie gibi akıllı prototipleme araçları ise, etkileşimli prototiplerin geliştirilmesi, kullanıcı davranışlarının simülasyonu ve öneri sunma gibi işlevlerle prototipleme süreçlerine katkı sağlamaktadır (Chaudhry, 2024). Öte yandan, Uizard gibi platformlar, elle çizilmiş taslaklardan otomatik olarak prototip üretmek hızlı prototipleme imkânı sunmaktadır (Bauer, 2024). Görsel manipülasyon ve üretim araçları arasında yer alan Midjourney ve Huemint, arayüz tasarımında kullanılacak görsel öğelerin, renk paletlerinin ve prototip tasarımlarının üretilmesinde etkili rol oynamaktadır (Chaudhry, 2024). Midjourney, Adobe Firefly ve Microsoft Designer gibi görüntü oluşturma araçları, yaratıcı fikirlerin hızlı görselleştirilmesi amacıyla geniş bir kullanım alanına sahiptir. Özellikle Adobe Firefly, ikon tasarımı gibi daha spesifik tasarım görevlerinde de kullanılmakta olup, süreçlerin otomasyonunu destekleyerek zaman tasarrufu ve verimlilik artışı sağlamaktadır (Takaffoli, Li, & Mäkelä, 2024). Fikir geliştirme ve kullanıcı akışı planlama gibi erken tasarım aşamalarında Whimsical ve Miro Assist gibi araçlar önemli katkılar sunarken, Synthetic Users platformu ise yapay kullanıcı personaları oluşturarak kullanıcı araştırmalarını desteklemektedir. Ancak, Synthetic Users'ın oluşturduğu yapay personaların, gerçek kullanıcı çeşitliliğini tam anlamıyla yansıtmakta sınırlı kaldığı da belirtilmektedir (Bauer, 2024). Figma, Photoshop, Adobe Illustrator ve Adobe XD gibi yaygın olarak kullanılan tasarım yazılımlarına, GenAI tabanlı eklentilerin entegrasyonu giderek artmaktadır. Bu entegrasyonlar, görsel içerik üretimi ve otomasyon süreçlerinde tasarımcıların GenAI teknolojilerinden doğrudan faydalanmalarını sağlamaktadır. Böylece, GenAI'nın yalnızca bağımsız araçlar olarak değil, aynı zamanda yerleşik tasarım ortamlarının bir parçası olarak konumlandığı görülmektedir. Bu durum, üretken yapay zekâ teknolojilerinin kullanıcı arayüzü tasarımına gelecekte daha doğrudan, işlevsel ve dönüştürücü katkılar sunma potansiyelini ortaya koymaktadır (Takaffoli, Li, & Mäkelä, 2024). Bu araçlar, GenAI'nın kullanıcı arayüzü tasarımındaki potansiyelini ve çeşitliliğini ortaya koyarken, kullanım bağlamına göre avantaj ve sınırlılıkların dikkatle değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir (Bauer, 2024).

4.2. Üretken Yapay Zekâ Entegrasyonunda Yaşanan Zorluklar



Şekil 6. GenAI Entegrasyonunda Zorluklar

Tasarımcılar, GenAI araçlarının UI/UX süreçlerine entegrasyonunda temkinli bir iyimserlik sergilemektedir. Yaratıcılığı destekleme ve süreçleri hızlandırma potansiyelini kabul etmekle birlikte, yaratıcı çeşitliliğin sınırlanması, temel tasarım becerilerinin zayıflaması, iş akışlarında uyumsuzluk, algoritmik önyargılar ve veri gizliliği riskleri gibi önemli endişeler dile getirilmektedir. Ayrıca, GenAI araçlarının yanlış entegrasyonunun verimlilik kaybına yol açabileceği vurgulanmaktadır (Chaudhry, 2024). GenAI'nın ürettiği çıktılardaki kalite ve doğruluk sorunları, tasarımcılarda güven problemlerine yol açmaktadır. Hatalı ve önyargılı çıktılar, sürekli doğrulama ihtiyacını doğururken, deneyimsiz tasarımcıların GenAI'ya aşırı güvenmesi problem çözme becerilerinin körelmesine ve bağımlılık riskine neden olabilmektedir (Takaffoli, Li, & Mäkelä, 2024). Yapay zekâ araçlarına uyum sağlamak için sürekli yeni beceriler edinme ihtiyacı, tasarımcılar için önemli bir zaman ve kaynak zorluğu oluşturmaktadır. Tasarımcılar, yalnızca araç kullanımını değil, bu teknolojilerin temel prensiplerini de anlamaları gerektiğini belirtmektedir. Ayrıca, insan merkezli yapay zekâ entegrasyonunun önemi vurgulanmakta, karar alma süreçlerinde insan gözetiminin kritik olduğu savunulmaktadır. Yapay zekanın mevcut verilerle tasarım öğeleri üretmesinden dolayı yetersiz kalarak yenilikçi ve alışılmışın dışında tasarım öğeleri üretmesi endişeleri de dile getirilmektedir (Chaudhry, 2024). GenAI'nın kurumsal entegrasyonunda en büyük engeller, resmi politika eksikliği, uygulamaların bireysel inisiyatiflere bırakılması ve ekipler arası iş birliği

yetersizliğidir. Veri gizliliği ve güvenlik kaygıları, özellikle hassas sektörlerde kullanımın sınırlandırılmasına yol açmaktadır. Kültürel bağlamlardaki yetersizlikler ise küresel kullanıcı deneyimini olumsuz etkilemektedir (Takaffoli, Li, & Mäkelä, 2024). Gelecekteki GenAI araçlarının, yalnızca teknik değil, empati, yaratıcılık ve etik sorumlulukları da desteklemesi gerekmektedir. Tasarımcıların bu araçların sınırlarını anlayarak teknik ve yönetsel yetkinlikler geliştirmesi, insan merkezli tasarımla uyumu mümkün kılacaktır (Chaudhry, 2024).

4.3. Teknik ve Etik Zorluklar

Teknik Zorluklar	Etik Zorluklar
• Bağlamsal Farkındalık Eksikliği • Doğruluk ve Güvenilirlik Sorunları • İstem (Prompt) hassasiyeti • Karmaşık Görevlerde Yetersizlik • Veri Kalitesi	• Veri Gizliliği ve Güvenliği • Telif Hakkı ve Mülkiyet Sorunları • Algoritmik Önyargılar • İnsan Yaratıcılığının Aşınması • İçerik Kalitesi

Şekil 7. Teknik ve Etik Zorluklar

GenAI destekli kullanıcı arayüzü tasarımı karşılaşılan teknik ve etik zorluklar birkaç önemli alanda yoğunlaşmaktadır. Teknik açıdan, yanlış veya temelsiz çıktı üretimi, ileri düzey görevlerde yetersiz kalma, bağlamı koruyamama, önyargılı veri analizi ve önceki etkileşimleri hatırlayamama öne çıkmaktadır (Takaffoli, Li, & Mäkelä, 2024). Tasarımcılar, yapay zekanın insan yeteneklerini tam olarak taklit edemediğini, özellikle yaratıcılık ve duygusal derinlik gibi alanlarda eksiklikler yaşandığını vurgulamaktadırlar. Ayrıca, yapay zekâ eğitimi için gereken kaliteli ve çeşitli veri kümelerinin elde edilmesinin zorluk oluşturduğu belirtilmektedir (Chaudhry, 2024). Etik açıdan, yapay zekâ algoritmalarının toplumsal eşitsizlikleri yansıtmaya ve kullanıcı gizliliğini tehdit etme riski önemli endişe kaynağıdır. Tasarımcılar, kullanıcı verilerinin gizliliği ve mahremiyeti konusunda endişeler taşımaktadır. Veri sızıntısı riski ve hassas bilgilerin kötüye kullanımı olasılığı, güçlü veri koruma önlemleri ve şeffaf veri işleme süreçlerinin önemini artırmaktadır (Chaudhry, 2024). GenAI'nın doğruluğu garanti edilemeyen içerikler üretmesi, özellikle deneyimsiz kullanıcılar için eleştirel düşünme becerilerinin zayıflamasına neden olabilir. Veri gizliliği, fikri mülkiyet hakları ve algoritmik önyargılar ise içerik kalitesi ve güvenlik açısından risk oluşturmaktadır. Ayrıca, iş gücü üzerindeki etkileri çalışanlarda güvensizlik yaratabilmektedir. Bu nedenle, GenAI'nın kullanıcı arayüzü tasarımı etkin ve güvenli kullanımı için teknik yeterliliklerin geliştirilmesi, etik ilkelerin netleştirilmesi ve şirketlerin açık politikalarla çalışanları bilgilendirmesi gerekmektedir (Takaffoli, Li, & Mäkelä, 2024).

5. MATERYAL VE METOT

Bu çalışma, üretken yapay zekâ (GenAI) teknolojilerinin kullanıcı arayüzü (UI) tasarım süreçlerine entegrasyonunu incelemek amacıyla nitel bir araştırma yöntemi benimsemiştir. Çalışmanın temel veri kaynağını, GenAI destekli UI/UX tasarımı alanında 2022-2024 yılları arasında yayımlanan güncel akademik makaleler, endüstri raporları ve vaka çalışmaları oluşturmuştur. Literatür taraması, belirlenen anahtar kelimeler ("Generative AI", "User Interface Design", "Human-AI Collaboration", "UX Design", "Ethical Design") kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Kaynak seçiminde, kullanıcı arayüzü tasarım süreçlerinde GenAI teknolojilerinin doğrudan etkilerini ele alan, teorik katkı veya uygulamalı örnekler sunan çalışmalar tercih edilmiştir. Çalışmalar, katkı türü (teorik analiz, vaka çalışması, anket çalışması) ve kapsam kriterlerine göre sınıflandırılarak incelenmiştir.

Elde edilen veriler, içerik analizi yöntemi ile değerlendirilmiştir. GenAI araçlarının sunduğu fırsatlar, karşılaşılan sınırlılıklar ve geleceğe yönelik yönelimler tematik olarak kodlanmıştır. Değerlendirme

sürecinde, insan merkezli tasarım ilkeleri ve etik sorumluluklar gibi kritik kavramlar özel bir dikkatle ele alınmıştır. Böylece, üretken yapay zekâ destekli kullanıcı arayüzü tasarımı konusuna ilişkin bütüncül ve eleştirel bir çerçeve sunulması hedeflenmiştir.

6. SONUÇ

Bu çalışma, üretken yapay zekâ (GenAI) teknolojilerinin kullanıcı arayüzü (UI) tasarım süreçlerine etkilerini çok boyutlu olarak incelemiştir. Literatür bulguları, GenAI araçlarının yalnızca içerik üretimini otomatikleştirmekle kalmayıp, stratejik karar alma, problem çözme ve kullanıcı deneyimi geliştirme süreçlerinde de rol oynayabileceğini göstermektedir. GenAI'nin sunduğu yaratıcı destek, prototipleme hızındaki artış, veri analizine dayalı kullanıcı içgörülerini üretme kapasitesi ve tekrarlayan görevleri otomatikleştirmesi, geleneksel tasarım yöntemlerine kıyasla önemli avantajlar sunmaktadır.

Öte yandan, bağlamsal farkındalık eksikliği, yaratıcı süreçlerin yüzeyselleşmesi, veri gizliliği riskleri ve tasarım süreçlerinin aşırı otomasyonu gibi sorunlar insan merkezli tasarımı tehdit etmektedir. Ayrıca, deneyimsiz kullanıcılar için eleştirel düşünme ve temel tasarım becerilerinin zayıflaması gibi riskler söz konusudur.

Bu nedenle, GenAI araçlarının daha güvenilir, bağlama duyarlı ve açıklanabilir hale getirilmesi, tasarımcılar için yapay zekâ okuryazarlığını artıracak eğitim programlarının geliştirilmesi önerilmektedir. Gelecekte, GenAI'nin empati ve bağlam bilgisiyle güçlendirilerek insan yaratıcılığıyla dengeli bir iş birliği kurması hedeflenmektedir. Böylece üretken yapay zekâ, yalnızca yardımcı bir araç olmaktan çıkıp, insan yaratıcılığı ile dengeli ve anlamlı bir tasarım ortağı haline gelebilecektir.

7. TARTIŞMA

Bu çalışma, üretken yapay zekâ (GenAI) teknolojilerinin UI tasarım süreçlerindeki etkilerini kapsamlı biçimde incelemiştir. Bulgular, GenAI araçlarının önemli katkılar sağladığını, ancak insan sezgisi ve eleştirel düşünmenin vazgeçilmez olduğunu ortaya koymuştur. Yaratıcı süreçlerde yüzeyselleşme ve bağlamsal farkındalık eksikliği, GenAI kullanımının temel sınırları arasında yer almaktadır. Deneyimsiz tasarımcılar için temel yetkinlik kaybı riski de dikkat çekmektedir. Gelecekte, insan-yapay zekâ iş birliğinin dengeli, etik sorumlulukları gözetin ve insan yaratıcılığını destekleyen bir yapıda geliştirilmesi gerekmektedir. Ayrıca, yapay zekâ okuryazarlığını artıracak eğitim programları, teknolojinin doğru ve etkin kullanımında kritik rol oynayacaktır. Sonuç olarak, üretken yapay zekâ destekli UI tasarımında sürdürülebilir başarı, insan yaratıcılığı ve yapay zekâ gücü arasında kurulacak dengeli iş birliğine bağlıdır.

KAYNAKLAR

- Bauer, C. N. (2024). *Exploring the Integration of Generative AI in User-Centered Design*. Gesellschaft für Informatik e.V.
- Carreiro, J. (2023, 8 29). *The Role of AI in UX/UI Design: How Artificial Intelligence is Transforming User Experiences*. IronHack: <https://www.ironhack.com/us/blog/the-role-of-artificial-intelligence-in-ux-ui-design> adresinden alındı
- Chaudhry, B. M. (2024). *Concerns and Challenges of AI Tools in the UI/UX Design Process: A Cross-Sectional Survey*. ACM (Association for Computing Machinery).
- Houde, S., Ross, S. I., Muller, M., Agarwal, M., Martinez, F., Richards, J., . . . Weisz, J. D. (2022). *Opportunities for Generative AI in UX Modernization*. CEUR Workshop Proceeding.
- Huang, Y., Kanij, T., Madugalla, A., Mahajan, S., Arora, C., & Grundy, J. (2024). *Unlocking Adaptive User Experience with Generative AI*. arXiv.
- K S, A. (2024, 5 31). *Efficiency, Personalization, and Innovation: The Generative AI in UI/UX Design*. Aufait UX: <https://www.aufaitux.com/blog/generative-ai-in-design/> adresinden alındı
- Kamnerddee, C., Putjorn, P., & Intarasirisawat, J. (2024). *AI-Driven Design Thinking: A Comparative Study of Human-Created and AI-Generated UI Prototypes for Mobile Applications*. IEEE.
- Kim, T.-S., Ignacio, M. J., Yu, S., Jin, H., & Kim, Y.-G. (2024). *UI/UX for Generative AI: Taxonomy, Trend, and Challenge*. IEEE.

- Li, J., Cao, H., Lin, L., Hou, Y., Zhu, R., & Ali, A. E. (2024). *User Experience Design Professionals' Perceptions of Generative Artificial Intelligence*. ACM.
- Peng, X., Koch, J., & Mackay, E. W. (2024). *DesignPrompt: Using Multimodal Interaction for Design Exploration with Generative AI*. ACM.
- Singla, A., Sukharevsky, A., Yee, L., Chui, M., & Hall, B. (2025, 3 12). *The state of AI: How organizations are rewiring to capture value*. QuantumBlack AI by McKinsey: <https://www.mckinsey.com/capabilities/quantumblack/our-insights/the-state-of-ai> adresinden alındı
- Statista. (2024). *Generative AI - Worldwide*. Statista: <https://www.statista.com/outlook/tmo/artificial-intelligence/generative-ai/worldwide> adresinden alındı
- Takaffoli, M., Li, S., & Mäkelä, V. (2024). *Generative AI in User Experience Design and Research: How Do UX Practitioners, Teams, and Companies Use GenAI in Industry?* ACM.
- Väisänen, A. (2024). *Guidelines supported evaluation of user interfaces with generative AI*. Aalto University School Of Science.
- Varhatiuk, K. (2025, 01 10). <https://fireart.studio/blog/ai-driven-design-how-artificial-intelligence-is-shaping-ui-ux-design/>. Fireart: <https://fireart.studio/blog/ai-driven-design-how-artificial-intelligence-is-shaping-ui-ux-design/> adresinden alındı

GERÇEK ZAMANLI HAREKET ALGILAMA VE ALARM SİSTEMİ TASARLANMASI

Noor Ali Hussein

Kocaeli Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Bilişim Sistemleri Mühendisliği Yüksek Lisans
235172011@kocaeli.edu.tr, ORCID 0009-0004-0575-0705

Hikmet Hakan Gürel

Kocaeli Üniversitesi / Bilişim Sistemleri Mühendisliği
hhakan.gurel@kocaeli.edu.tr, ORCID 0000-0002-6999-7166

Özet

Bu çalışma, gerçek zamanlı hareket algılama ve alarm sistemlerinin nasıl kullanıldığını ve video karelerinde nesnelerin veya bireylerin pozisyonlarındaki değişikliklerin nasıl tanımlandığını ve izlendiğini araştırıyor. Hareket algılama, güvenlik sistemleri, trafik izleme ve video analizi gibi birçok alanda hayati öneme sahiptir. MATLAB'ın bilgisayarla görme ve görüntü işleme yeteneklerinden yararlanarak, insan hareketini algılamak ve algılama sırasında sesli uyarılar üretmek için bir grafik kullanıcı arayüzü (GUI) yaratıldı.

Seçilen algoritma, özellikle statik ortamlarda arka plan çıkarma ve ön plan tespiti kullanıyor. Bu nedenle MATLAB'ın Bilgisayarla Görme Araç Kutusu, bu amaca hizmet ediyor. ForegroundDetector'un kullanılması gerekiyor. Ayrıca sistem, hareket algılandığında aktif olan ve beş saniye boyunca hiçbir hareket görülmediğinde durarak sesli bir uyarı özelliği içerir.

Kare farkı, optik akış, değişim tespiti ve kenar tespiti gibi temel kavramlar tartışılıyor ve bunların hareket algılama yöntemlerindeki önemi vurgulanıyor. Bu teknoloji güvenlik ve gözetim, trafik izleme ve insan etkinliği tanıma gibi çeşitli alanlarda kullanılabilir. Ayrıca, kameralar ve sensörler gibi modern teknolojiler için hareket algılama çok önemlidir çünkü yalnızca hareket algılandığında alarmları tetikler ve kayıt yapar. Bu çalışma, hareket algılama sistemlerinin birçok alanda güvenliği ve operasyonel verimliliği artırmak için ne kadar önemli olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Gerçek Zamanlı Hareket Algılama, Alarm, Görüntü İşleme, Güvenlik Sistemleri, GUI (Grafiksel Kullanıcı Arayüzü).

DESIGN OF A REAL-TIME MOTION DETECTION AND ALARM SYSTEM

Abstract

This study investigates how real-time motion detection and alarm systems are used, and how changes in the positions of objects or individuals in video frames are identified and tracked. Motion detection is vital in many areas such as security systems, traffic monitoring, and video analysis. Utilizing MATLAB's computer vision and image processing capabilities, a graphical user interface (GUI) was created to detect human movement and generate audio alerts during detection.

The selected algorithm specifically employs background subtraction and foreground detection in static environments. Therefore, MATLAB's Computer Vision Toolbox serves this purpose, requiring the use of ForegroundDetector. Additionally, the system includes a feature that activates an audio alert when motion is detected and stops after five seconds if no movement is seen.

Fundamental concepts such as frame difference, optical flow, change detection, and edge detection are discussed, highlighting their importance in motion detection methods. This technology can be applied in

various fields, including security and surveillance, traffic monitoring, and human activity recognition. Moreover, motion detection is crucial for modern technologies like cameras and sensors, as it triggers alarms and recording only when motion is detected. This study demonstrates how motion detection systems are essential for enhancing safety and operational efficiency in many areas.

Keywords: Real-Time Motion Detection, Alarm, Image Processing, Security Systems, GUI (Graphical User Interface).

1.GİRİŞ

Hareket algılama, bir dizi görüntü veya video karesi içindeki nesnelerin veya kişilerin konumlarındaki değişiklikleri tespit etme ve izleme sürecidir. Bu süreç, çeşitli görüntü işleme ve bilgisayarla görme algoritmalarının uygulanmasıyla gerçekleşir. Hareket algılama sistemleri, hem fiziksel güvenliği sağlamak hem de çevresel olayları izlemek amacıyla geniş bir yelpazede kullanılmaktadır. Hareket algılama teknolojisinin temel amacı, sahnedeki bir nesnenin yer değiştirmesi, boyut, şekil veya konum gibi fiziksel özelliklerindeki değişiklikleri algılamaktır. Günümüz dünyasında, güvenlik, izleme ve analiz gerektiren birçok farklı uygulamada bu teknolojiye başvurulmaktadır. Özellikle video gözetim sistemleri, trafik kontrolü ve endüstriyel otomasyon gibi alanlarda hareket algılama önemli bir rol oynamaktadır.

2.MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada gerçek zamanlı hareket algılama ve Telegram ile bildirim gönderme sistemi MATLAB programlama dili kullanılarak geliştirilmiştir. Aşağıda belirtilen temel araçlar ve algoritmalar kullanılmıştır:

2.1.1 Materyaller:

1. Bilgisayar (PC) : Uygulamanın çalışması için kullanılan ortamdır. MATLAB yazılımı yüklü olan orta düzey bir işlemci gereklidir.
2. MATLAB: Hareket algılama algoritmalarının geliştirilmesi ve uygulanması için kullanılan ana yazılım platformudur. MATLAB, görüntü işleme ve bilgisayarla görme alanında kapsamlı araç setleri sunar. Bu proje kapsamında MATLAB'ın özellikle Bilgisayarla Görme Araç Kutusu (Computer Vision Toolbox) kullanılacaktır.
3. Dizüstü Bilgisayar Kamerası: Yüksek çözünürlüklü bir dizüstü bilgisayar kamerası, video akışının alınması ve analiz edilmesi amacıyla kullanılacaktır. Bu kamera, ortamdaki hareketleri algılayarak, video görüntüsünde meydana gelen değişikliklerin tespit edilmesine yardımcı olacaktır.
4. Telegram API : hareket algılandığında mesaj ve fotoğraf göndermek için kullanılır.
5. İnternet Bağlantısı : Telegram API üzerinden mesaj ve görüntü gönderimi için gereklidir.

2.1.2 Yöntem:

Bu çalışmada MATLAB tabanlı bir uygulama, gerçek zamanlı hareket algılama ve Telegram'a iletme yeteneğine sahiptir. Uygulama, kamera akışını işleyen, hareketi algılayan, alarmı tetikleyen, sesli uyarı gönderen ve hem görsel hem de metin içerikli bildirimler gönderen bir dizi bileşen içerir.

Algoritma Seçimi:

1. Ön Plan Algılama ve Arka Plan Çıkarma: Hareket algılama sürecinde, ön planda hareket eden nesneleri tespit edebilmek için arka plan çıkarma yönteminden yararlanılacaktır. Bu yöntem, statik bir arka planda meydana gelen hareketleri algılamak için oldukça etkili bir yaklaşımdır. MATLAB'ın Bilgisayarla Görme Araç Kutusu'ndan vision.ForegroundDetector fonksiyonu kullanılarak, ön plandaki hareketli nesneler tespit

edilecektir. Bu algoritma, zaman içinde değişmeyen arka planı modelleyerek, yalnızca hareket eden nesneleri çıkarır.

2. Sesli Uyarı Sistemi: Hareket algılandığında sistem bir uyarı sesi çalacaktır. Bu amaçla, MATLAB'ın ses oynatma yetenekleri kullanılarak bir MP3 dosyası çalınacaktır. Algılanan hareket sona erdiğinde, uyarı sesi 5 saniye içinde duracaktır. Böylece sistem, hem görsel hem de işitsel olarak kullanıcıyı bilgilendirme yeteneğine sahip olacaktır.

GUI (Grafiksel Kullanıcı Arayüzü) Bileşenleri:

Hareket algılama sistemi için kullanıcı dostu bir arayüz (GUI) tasarlanacaktır. Bu arayüzde, kullanıcıların sistemin işleyişini kontrol edebilmeleri için şu bileşenler bulunacaktır:

- Video Gösterimini Başlat ve Video Gösterimini Durdur düğmeleri: Kullanıcılar, bu düğmeleri kullanarak video akışını başlatabilir veya durdurabilir.
- Video Görüntüleme Alanı: Gerçek zamanlı video akışının görüntüleneceği alandır. Hareket algılandığında bu alanda uyarılar gösterilecektir.

Hareket Algılamanın Temel Kavramları ve Yöntemleri:

1. Değişiklik Algılama:

Hareket algılamanın temelinde, ardışık görüntüler veya video kareleri arasındaki farkları belirlemek yatar. İki kare arasındaki fark, bir nesnenin yer değiştirdiğini veya hareket ettiğini gösterir. Bu farklılıkların tespiti, hareketin algılanmasını sağlar.

2. Hareket Algılama Yöntemleri:

- Kare Farkı Yöntemi: Hareket algılamanın en basit yöntemlerinden biri olan kare farkı yöntemi, bir video akışındaki iki ardışık kare arasındaki piksel farklarını hesaplar. Eğer belirgin bir fark varsa, bu fark hareketin gerçekleştiği bölgeleri işaret eder. Bu yöntem, basitliği ve düşük işlem maliyeti nedeniyle sıklıkla tercih edilir.
- Arka Plan Çıkarma: Bu yöntem, arka planın statik bir modelini oluşturarak, zaman içinde bu modeli günceller. Mevcut kare, oluşturulan arka plan modeliyle karşılaştırılır ve önemli sapmalar hareketi işaret eder. Arka plan çıkarma, dinamik ortamlarda hareket algılamak için daha karmaşık ve etkili bir yöntemdir.
- Optik Akış: Daha gelişmiş bir teknik olan optik akış yöntemi, ardışık kareler arasındaki piksel hareketlerini analiz ederek, hareketin yönü ve hızı hakkında bilgi sağlar. Bu yöntem, hareketin kapsamlı bir analizini yapmak için kullanılır.
- Kenar Algılama: Kenar algılama yöntemi, ardışık kareler arasındaki nesnelerin kenarlarındaki değişiklikleri tespit ederek hareketi belirler. Bu yöntem genellikle diğer hareket algılama yöntemleriyle birlikte kullanılarak, algılama doğruluğunu artırır.

Sistem başlatıldığında, webcam'den alınan iki ardışık görüntü (frame1 ve frame2) gri tonlamaya çevrilir ve bu iki görüntü arasında fark alınarak hareket olup olmadığı belirlenir:

Sistem başladığında, kameradan alınan iki ardışık görüntü (frame1 ve frame2), gri tonlamaya çevrilir ve hareket olup olmadığı belirlenir.

- rgb2gray: Renkli görüntüleri griye dönüştürür.
- imabsdiff: İki görüntü arasındaki mutlak farkı alır.

- imbinarize: Görüntüyü ikili (binary) formata çevirir.
- regionprops: İkili görüntüdeki nesne bölgelerini analiz eder.
- Belirli bir area (piksel büyüklüğü) eşiğinin üzerindeki değişimler "hareket" olarak tanımlanır..

Alarm ve Sesli Uyarı Sistemi

Hareket algılandığında:

- Kullanıcıya sesli uyarı verilmesi için alert.mp3 dosyası çalınır (audioread ve sound).
- Aynı anda Telegram üzerinden metin mesajı gönderilir.
- Hareketin algılandığı görüntü, bilgisayarda belirli bir dizine kaydedilir.
- Kaydedilen görüntü, cURL komutu ile Telegram botuna gönderilir.

Alarm sisteminin gereksiz tekrarlarını önlemek için beş saniyelik bir zamanlayıcı kullanılır. Yeni bir alarm, bu süre boyunca başka bir hareket algılandığında bile verilmez.

Telegram Entegrasyonu

Telegram üzerinden kullanıcıya bildirim göndermek için iki temel işlev yazılmıştır:

1. Metin Mesajı Gönderme (sendTelegramAlert)

- Telegram Bot API kullanılarak metin mesajı ile uyarı gönderilir.
- webwrite komutu ile JSON formatında istek yapılır.

2. Görsel Gönderme (sendTelegramPhoto)

- Hareket anında alınan görüntü bilgisayarda tarih/saat bilgisiyle saklanır.
- system komutu aracılığıyla curl çağrısı yapılır ve görsel Telegram'a gönderilir.

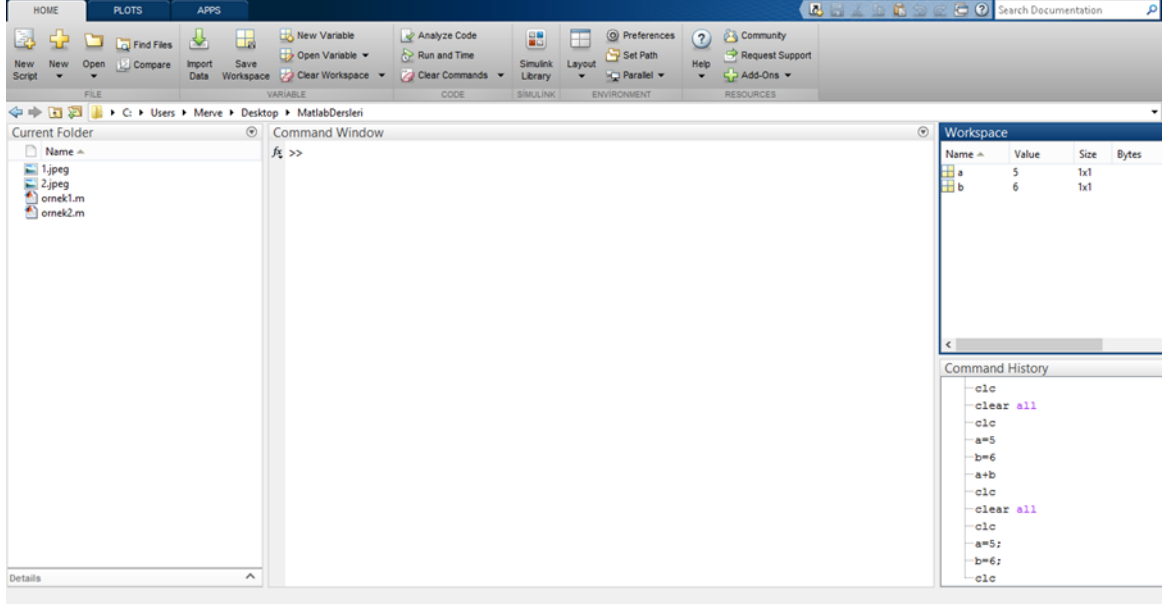
Sistem Davranışı ve Otomasyon

Sistem, sürekli çalıştığı sürece webcam görüntüsünü analiz eder. Hareket tespiti durumunda:

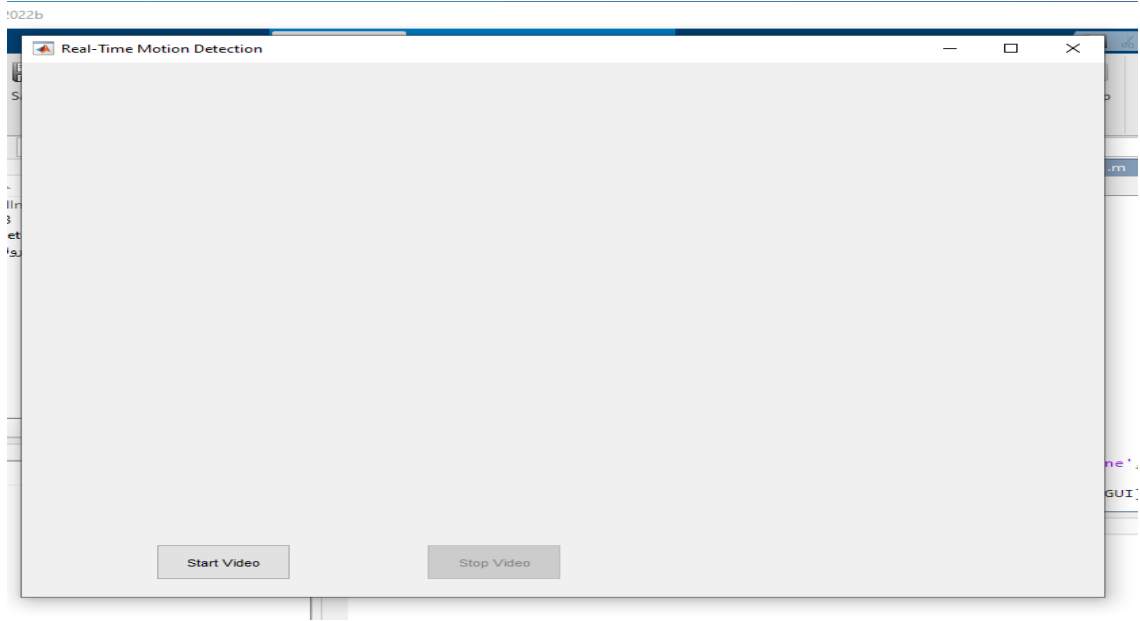
- Alarm sesi çalınır.
- Telegram'a uyarı mesajı gönderilir.
- Görsel, kullanıcının Telegram hesabına gönderilir.
- 5 saniyelik zamanlayıcı başlatılır.
- Zamanlayıcı sonunda alarm durdurulur ve sistem yeniden hareket beklemeye başlar.

Güvenlik ve Stabilité Önlemleri

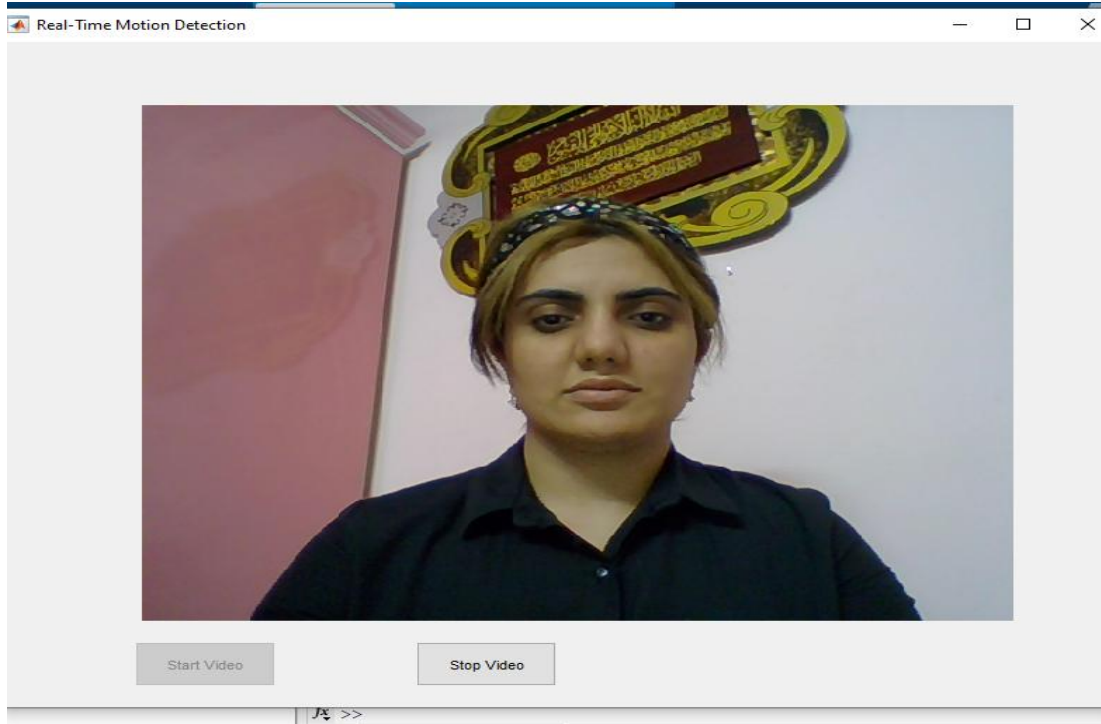
- Hata Yönetimi: Kamera başlatılamadığında veya internet bağlantısı kopuk olduğunda kullanıcı bilgilendirilir (try-catch blokları).
- Kaynak Serbest Bırakma: Kamera ve zamanlayıcı nesneleri, uygulama kapatıldığında veya durdurulduğunda otomatik olarak serbest bırakılır.
- Klasör Yapısı: Görseller, tarih bazlı klasörlere kaydedilerek organize edilmiştir.



Şekil 1. MATLAB Arayüzü



Şekil 2. GUI Başlat ve Durdur Butonları



Şekil 3. Haraket Algılama



Şekil 4. Telgram Uygulama Bildirimi

3.SONUÇ

Bu çalışmada, MATLAB tabanlı bir masaüstü uygulaması, hareketleri gerçek zamanlı olarak algılayan ve Telegram uygulaması ile kullanıcıya görüntü ve metin mesajları göndermek için bir sistem geliştirmiştir. Görüntü işleme teknikleri, kullanıcı arayüzü tasarımı, donanım-webcam etkileşimi, sesli uyarı sistemi ve bulut tabanlı mesajlaşma hizmeti entegrasyonu (Telegram API) gibi uygulamanın çok sayıda bileşeni birlikte çalışır.

Uygulama, belirli bir eşik değerin üzerinde hareket tespit edildiğinde aşağıdaki işlemleri başarıyla gerçekleştirmiştir:

- Gerçek zamanlı video akışı ile hareketi algılamak,
- Kullanıcıya alarm sesi ile bildirimde bulunmak,
- Telegram API üzerinden kullanıcıya metin mesajı göndermek,
- Algılanan hareketin ilk anındaki görüntüyü kaydederek Telegram üzerinden paylaşmak.

Bu sistem, özellikle ev güvenliği sistemleri, bebek izleme uygulamaları, ofis güvenliği ve hareketle tetiklenen olay izleme gibi alanlarda uygulanabilir. Ayrıca, uygulamanın kullanıcı dostu grafik arayüzü sayesinde yeni başlayanlar tarafından kolayca kullanıldığı görülmüştür.

Sonuç olarak, bu sistem, düşük maliyetli donanım gerektirmeden hızlı bir şekilde kullanılabilir olması, görüntü kaydı yapabilmesi ve internet üzerinden anında bildirim gönderebilmesi gibi pratik ve etkili bir çözüm sunmaktadır. Gelecekte sistemin yüz tanıma, nesne sınıflandırma, gece görüş desteği ve çoklu kamera desteği gibi ek yeteneklerle geliştirilmesi mümkündür.

4.TARTIŞMA

Bu çalışma, gerçek zamanlı hareket algılama sisteminin gözetim ve güvenlik amacıyla kullanılabilecek bir prototipini sunmaktadır. Uygulama, webcam ile alınan görüntülerden ardışık kareler arasındaki farklılıkları analiz ederek hareketi belirleme yeteneğine sahiptir. Ayrıca, sesli uyarı sistemini aktive ederek hem görsel hem de metin içeren bildirim gönderme yeteneğine sahiptir.

Sistemin entegre iletişim yeteneği sayesinde kullanıcıyı anlık olarak bilgilendirmesi, sistemin en önemli avantajlarından biridir. Hareket algılandığında sesli alarm sistemi çalışır ve kullanıcıya olayın fotoğrafı Telegram'dan gönderilir. Bu, uzaktan izleme ve erken müdahaleyi mümkün kılmaktadır. Veri arşivleme için önemli bir avantaj, görüntülerin tarih ve saat bilgisine göre sistematik olarak klasörlenmesidir.

Bununla birlikte, sistem bazı kısıtlamalara da sahiptir:

1. Işık Değişimleri ve Görüntü Gürültüsü: Ani ışık değişimleri veya kameradaki titreşimler, hareket algılamada sadece iki kare arasındaki farkın kullanıldığı için yanlış pozitif sonuçlara neden olabilir.
2. Algılama Hassasiyeti: Kodda kullanılan imbinarize ve regionprops ile yapılan basit eşikleme ve alan analizi, yalnızca kaba hareketleri belirleyebilir. Bu yöntemle yavaş hareketleri kaçırabilirsiniz.
3. Tek Kamera: Sistem yalnızca bir web kamerası ile çalışır. Çoklu kamera desteği yoktur.
4. Gizlilik ve Güvenlik: Telegram botunun token verilerinin doğrudan kod içinde olması güvenliği tehdit ediyor. Bu verilerin dış bir dosyada veya çevresel değişkende saklanması daha güvenlidir.
5. Bağımlılıklar ve Uyumluluk: İşletim sistemi, curl komutu kullanılarak Telegram'a fotoğraf gönderdiği için bağımlıdır. Bu komut Windows ve Linux sistemlerinde çalışmayabilir.

Gerçek zamanlılık, düşük maliyet ve kolay entegrasyon, sistem tarafından sunulan pratik bir çözümün özellikleridir. MATLAB ortamı, geliştirme aşamasında hızlı prototipleme ve görüntü işleme yetenekleri

açısından avantaj sağlamıştır. Bununla birlikte, arka plan çıkarımı, makine öğrenmesi tabanlı hareket tanıma ve diğerleri gibi daha güçlü ve optimize edilmiş tekniklerle sistemin genişletilmesi gerekebilir, çünkü bunlar gerçek hayatta kullanılabilir.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının hazırlanmasında desteklerini esirgemeyen birçok kişiye teşekkür etmek isterim.

Öncelikle, tez danışmanım Prof. Dr. Hikmet Hakan Gürel'e, çalışmam boyunca bana göstermiş olduğu sabır, rehberlik ve değerli katkılarından dolayı en içten teşekkürlerimi sunarım. Bilimsel bakış açımı geliştirmemde büyük rol oynayan destekleri benim için çok kıymetlidir.

Ayrıca, KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ /Bilişim Sistemleri Mühendisliği bölümündeki tüm akademik ve idari personele, sağladıkları imkânlar ve yapıcı yaklaşımları için teşekkür ederim.

Tez sürecim boyunca manevi destekleriyle her zaman yanımda olan aileme, özellikle de babama, kız kardeşlerime ve arkadaşlarıma verdikleri moral ve motivasyon için minnettarım. Onların desteği olmasaydı bu süreci tamamlamak çok daha zor olurdu.

Son olarak, birlikte çalışmaktan büyük keyif aldığım ve bu süreçte emeği geçen herkese teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

- [1] A. Kandhalu, A. Rowe, R. Rajkumar, C. Huang, and C.-C. Yeh, "Real-time video surveillance over IEEE 802.11 mesh networks," 2009 15th IEEE Real-Time and Embedded Technology and Applications Symposium, 2009.
- [2] O. Elharrouss, N. Almaadeed, and S. Al-Maadeed, "A review of video surveillance systems," Journal of Visual Communication and Image Representation, vol. 77, no. 1047–3203, 2021.
- [3] N. O.C., A.-U. C.C., N. U.A., and E. C.H., "Motion Detector Security System for indoor geolocation," International Journal of Engineering and Applied Sciences (IJEAS), vol. 5, no. 11, 2018.
- [4] Nan Lu, Jihong Wang, Q.H Wu, Li Yang, An Improved Motion Detection Method for Real-Time Surveillance, International Journal Of Computer Science, vol.1, Issue 6, 2008.
- [5] R. Huang, J. Pedoeem, and C. Chen, "Yolo-lite: a real- 19 time object detection algorithm optimized for non-gpu computers," in 2018 IEEE International Conference on Big Data (Big Data). IEEE, 2018, pp. 2503–2510.
- [6] Mr. V N M Sarma Y, Miss. Lakshmi Durga T, Miss. Sireesha R, Mr. Anil Kumar P, Mr. P T S Kiran G, Mr. Mahaboob Ali S K, 2016, Saving Data Base Memory in Surveillance Camera by Real Time Motion Detection, INTERNATIONAL JOURNAL OF ENGINEERING RESEARCH & TECHNOLOGY (IJERT) NCACSPV – 2016 (Volume 4 – Issue 18).
- [7] Li Fang, Zhang Meng, Claire Chen, and Qian Hui, "Smart Motion Detection Surveillance System," in 2009 International Conference on Education Technology and Computer, Singapore, 2009, pp. 171-175.
- [8] Jadhav, Bhakti, Parth Deshmukh, and Nikhil Bajaj. "MOTION ACTIVATED SECURITY SYSTEM." (2019).
- [9] A. Khan and M. Iqbal, A motion detection-based surveillance system (MDSS), The First International Conference on Conference: Informatics and Computational Intelligence (ICI), 2011.
- [10] A. Sinha, P. Punjabi, S. More, J. Desai, and C. Chouhan, "Virtual Events using Laser Pointer," International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), vol. 04, no. 04, 2017.

- [11] K. Sehairi, F. Chouireb, and J. Meunier, “Comparative study of motion detection methods for video surveillance systems,” *Journal of Electronic Imaging*, vol. 26, no. 2, p. 023025, Apr. 2017, DOI: 10.1117/1.jei.26.2.023025.
- [12] O. Elharrouss, D. Moujahid, S. Elkah, and H. Tairi, “Moving object detection using a background modeling based on entropy theory and quad-tree decomposition,” *Journal of Electronic Imaging*, vol. 25, no. 6, p. 061615, Nov. 2016.

PATENT DATA ANALYSIS BASED ON DEFENSE TECHNOLOGIES

Gökhan Kalkan

Ankara Yıldırım Beyazıt University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Defense Technologies, *gkhnlkn@gmail.com*, ORCID: 0009-0000-7636-540X

Prof. Dr. Hüseyin Canbolat

Ankara Yıldırım Beyazıt University, Electrical and Electronics Eng.
huseyin.canbolat@aybu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-2577-0517

Abstract

Patents contain very valuable and significant information about any field of technology. As one of the most critical outputs of R&D, the patent system has been a reliable indicator for developing technologies. In recent years, it is observed that developments in defense technologies have accelerated and the importance of military systems and methods has increased in the industrial property strategies of countries. In this study, defense technologies are evaluated from a patent perspective, their development over the years is examined, and global patent applications in defense technologies are analyzed according to countries and technology classes. A database called Global Patent Index (GPI), which covers the patent applications of all countries, was used for the study. In order to identify all applications related to defense technologies in this database, the most accurate search query was created and 581392 patent applications were found at the end of this query. The results were first analyzed according to the number of applications filed between 2014 and 2023, then according to the patent office where the application was filed, after that according to the countries of the applicants, followed by the international patent classification (IPC), and finally according to their technological association status.

Keywords: patent, data analysis, defense technologies, technological association

1. INTRODUCTION

A patent is an industrial right of limited duration granted by a patent office to an inventor or applicant for an invention. While a patent right does not grant the right to produce, use and sell an invention, it grants a privilege to prevent the production, use, sale and importation of that invention by others. In exchange for the patent right, the person or organization applying for this right is asked to disclose the invention to the public. According to The Agreement on Trade-Related Aspects of Intellectual Property Rights (TRIPS) signed by the World Trade Organization (WTO) with its member countries, the validity period of patent rights should be 20 years from the date of application.

Defense technology is a broad term that refers to the use of technology in military operations, including the research, development, procurement, and deployment of systems and equipment used by armed forces to protect national interests. It encompasses technologies that are explicitly military in character and not applicable to civilian usage, either due to their absence of practical or legal civilian applications, or their inherent dangers when utilized without proper military training. The boundary is permeable; military advances have historically been adapted for civilian applications, often with minimal alterations, and civilian advancements have also been repurposed for military usage.

Defense technology is often researched and produced by scientists and engineers for application in combat by the armed services. Numerous novel inventions emerged from military support of scientific research. The academic field of military science, on the other hand, studies the theories, tactics, concepts, and doctrines of warfare.

Although military capabilities have always been crucial to security concerns, a new paradigm focused on technology difficulties first appeared in the 1940s. Since a technology-centric defense continues to be recognized as the best way to address security concerns, at least for the biggest military spenders, this paradigm was firmly established during the Cold War and remained beyond 1990.

Armed forces have deployed cutting-edge technology since the 1940s thanks to a vigorous R&D program and the creation of an unparalleled high-tech defense industrial base. R&D is crucial to gaining access to pertinent advanced technologies, and technological superiority is seen as a crucial component of achieving defense effectiveness. This explains why, since World War II, the US and other top nations have been investing a significant portion of their R&D budgets in defense-related applications.

Until the middle of the 20th century, technology had a small role, but World Wars I and II brought about a significant shift. Large R&D budgets in the majority of industrialized nations were justified by the latter, which showed the opportunities that scientific and technological advancements may offer to armed forces. This was a significant shift that contributed to the emergence of "Big Science." For example, R&D spending in the US increased from 0.8% of the federal budget in 1940 to almost 10% by 1960, with the majority of these new funds going to defense R&D.

The end of the Cold War and the fall of Communism led to significant reductions in defense spending in the early 1990s. Global defense budgets declined by roughly 35 percent from 1989 to 1999. Defense expenditures as a percentage of global gross national product (GNP) plummeted by almost half, from 4.7 percent to 2.4 percent, whilst global per capita expenditure on defense dropped from \$254 billion to \$142 billion. In addition, the number of the world's armed forces dropped from 28.6 million in 1989 to 21.3 million in 1999. During the 1990s, defense spending in the United States solely decreased by 28% in real terms. According to data compiled by the Stockholm International Peace Research Institute (SIPRI), total defense spending among the top European arms-producing states decreased by 12 percent between 1991 and 2004, from \$194 billion to \$170 billion, calculated using constant 2003 U.S. dollars. During this time, German military spending fell by 30%, British military spending fell by 12%, and French military spending fell by 8%.

Further on, 9/11 brought a new change, as regional conflicts globalized due to the necessary fight against international terrorism. As a result, defense spending had to be modified, becoming more adaptable to unforeseen circumstances, which affected the defense industry's whole supply chain. Following the conflicts in Afghanistan and Iraq, defense spending skyrocketed once more. The highest increase in arms spending since 2009 occurred in 2023, when global military spending soared to a record \$2.44 trillion. Figure 1 displays the total defense expenditure and the ratio of military expenditure to GDP between 2000 and 2023.

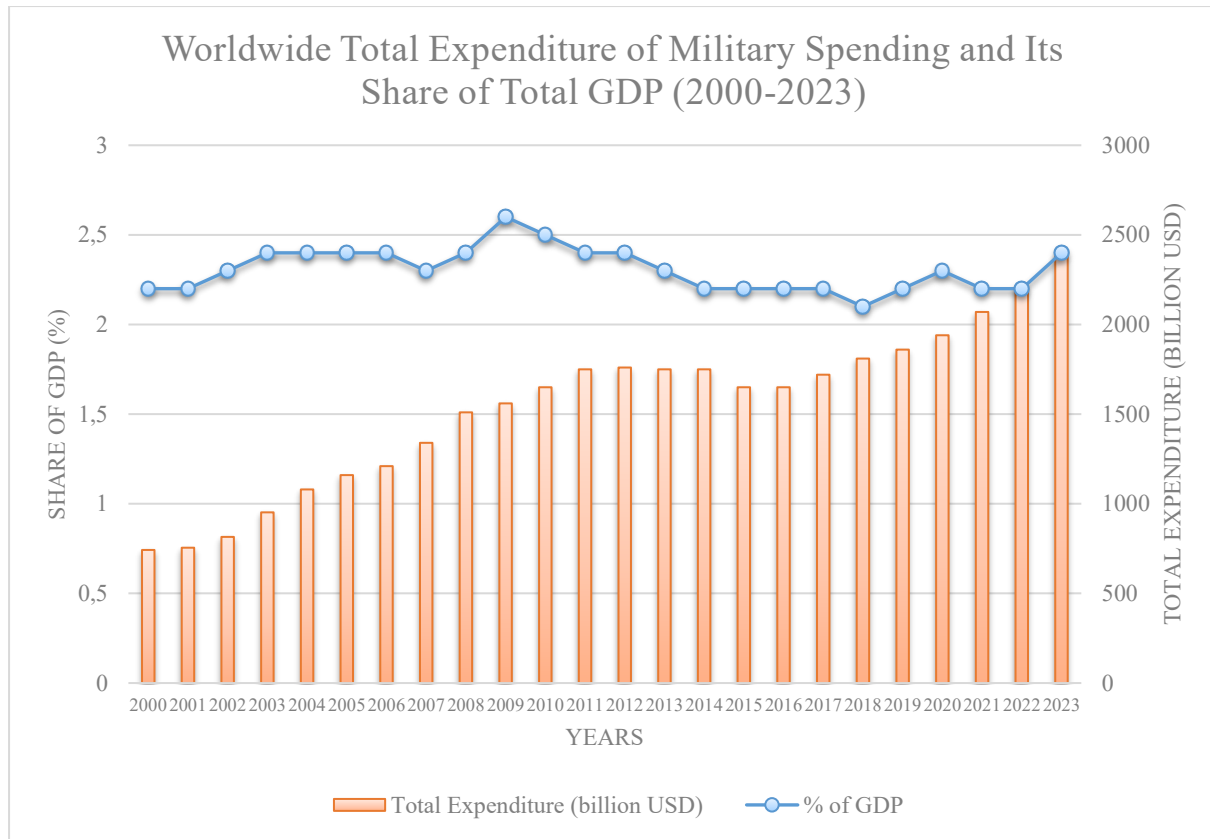


Figure 1. Total defense expenditure and the ratio of military expenditure to GDP

Figure 1 indicates that although the percentage of defense spending to GDP has not gone through a dramatic change since 2020, the total expenditure had a serious increasing trend over the years. Events such as 9/11, Iraq and Afghanistan War and Russia-Ukraine conflict were main events that resulted the booming incline of military spendings for the last 25 years.

In a situation where defense technologies have such an significant place for R&D activities, it is of crucial importance to evaluate the development of these technologies from the perspective of patents, one of the most important outcomes of R&D activities. In this study, various analyses will be made on patents related to defense technologies and the industrial property ecosystem of the field will be evaluated according to these analyses. These analyses will be carried out according to total patents number, number of patents by years, number of patents by countries and patent classifications.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1 International Patent Classification (IPC)

The International Patent Classification (IPC) is a hierarchical patent classification system used in over 100 countries to classify the content of patents in a uniform manner. It was created under the Strasbourg Agreement (1971), one of a series of agreements administered by the World Intellectual Property Organization (WIPO). Turkey signed the agreement on October 1, 1995 and put it into force in 1996. The classification is regularly updated by a Committee of Experts composed of representatives of the States Parties to the agreement and observers from other organizations such as the European Patent Office.

Each patent publication is assigned at least one classification symbol indicating the subject matter to which the invention relates, and may also be assigned other classification symbols and indexing codes to give further details of the contents. A patent examiner assigns the classification symbols to the patent application

or other document in accordance with the classification rules and usually at the most detailed level appropriate to its contents.

The new version of the IPC system comes into force on January 1 each year. The 2024 version is listed below:

A: Human Necessities

B: Performing Operations; Transporting

C: Chemistry, Metallurgy

D: Textiles, Paper

E: Fixed Constructions

F: Mechanical Engineering; Lighting; Heating; Weapons; Blasting

G: Physics

H: Electricity

As of 2023, the classification includes 8 sections, 132 classes and 651 subclasses. Table 1.1 lists the number of IPC classes and groups in 2023.

Table 1. Number of Classes and Groups in the IPC System in 2023

Section	Number of Classes	Number of sub-classes	Number of Main Groups	Number of Sub-Groups	Number of Total Groups
A	16	84	1139	8490	9629
B	38	170	2010	16063	18073
C	21	87	1323	13650	14973
D	9	39	354	2895	3249
E	8	31	323	3122	3445
F	18	99	1105	8372	9477
G	15	87	742	8496	9238
H	7	54	594	9700	10294
Total	132	651	7590	70788	78378

2.2 Cooperative Patent Classification (CPC)

The Cooperative Patent Classification (CPC) is a patent classification system jointly developed by the European Patent Office (EPO) and the US Patent and Trademark Office (USPTO). The CPC is largely based on the previous European Classification System (ECLA), which itself was a more specific and detailed version of the International Patent Classification (IPC) system.

The CPC classification is listed below:

A: Human Necessities

B: Performing Operations; Transporting

C: Chemistry, Metallurgy

D: Textiles, Paper

E: Fixed Constructions

F: Mechanical Engineering; Lighting; Heating; Weapons; Blasting

G: Physics

H: Electricity

Y: General Tagging of New Technological Developments

As can be seen, there is also a Y section in addition to the IPC class. This section includes topics such as developing technology, clean and alternative energy technologies to mitigate climate change.

2.3 Constructing the Search

In a situation where defense technologies have such an significant place for R&D activities, it is of crucial importance to evaluate the development of these technologies from the perspective of patents, one of the most important outcomes of R&D activities. In this chapter, various analyses will be made on patents related to defense technologies and the industrial property ecosystem of the field will be evaluated according to these analyses. These analyses will be carried out according to total patents number, number of patents by years, number of patents by countries, number of patents by applicants and patent classifications.

In order to identify patent applications related to defense technologies with an accurate data set, it is seen as an imperative need to determine the database and search query that should be used. The basic identifiers used in patent search queries are keywords and patent classes related to that field. In order to identify patent applications related to defense technologies with an accurate data set, it is seen as an imperative need to determine the database and search queries that should be used. The basic identifiers used in patent search queries are keywords and patent classes related to that field. For some fields, using purely keywords is the best strategy to identify those fields, while for some technology areas it is necessary to combine IPC/CPC classes to find patent applications. Nevertheless, it is generally considered that the most accurate strategy is a combination of patent classes and keywords. In our study, the search query covering all defense technologies is constructed as follows:

(TIAB OR CLAIM = MILITARY OR WARFARE OR CYBERWARFARE OR TACTICAL OR TACTICS OR ARMY OR WEAPON? OR BATTLE? OR BATTLEFIELD? OR PEACE OR PEACEKEEPING) OR IPC OR CPC = (B63G OR B64D007 OR F41 OR F42 OR G01S001918)

The database used in this study is called the Global Patent Index (GPI). The European Patent Office (EPO) offers a tool for searching and analyzing patents called the Global Patent Index (GPI). Users can search, examine, and monitor patent trends across many industries and geographical areas because to its extensive collection of global patent information. GPI enables you to perform detailed searches in the EPO's worldwide bibliographic, legal event and full-text data sets. You can run detailed searches combining bibliographic, legal event and full text data, run data quality assessment, run regular monitoring searches, visualize search result sets, customize data display and download.

Keywords that are chosen for the search query are military, warfare, cyberwarfare, tactical, tactics, army, weapon, battle, battlefield, peace and peacekeeping. The keyword search is conducted at the title, abstract and claims of the patent applications in the database. These keywords are also supported with some IPC/CPC subclasses and main groups. The descriptions and these IPC/CPC subclasses, main groups and subgroups are listed below:

Table 2 – IPC/CPC Symbols Used in Patent Search

Symbol	Classification and description
B63G	Offensive or defensive arrangements on vessels; mine-laying; mine-sweeping; submarines; aircraft carriers
B64D 7	Arrangement of military equipment, e.g. Armaments, armament accessories or military shielding, in aircraft; Adaptations of armament mountings for aircraft
F41	Weapons
F42	Ammunition; blasting
G01S 19/18	Military applications of satellite radio beacon positioning systems

Table 2 shows IPC/CPC subclasses, main groups and subgroups that are totally linked with defense technologies. By combining with relevant keywords that are related with defense applications and filtering the results by the application filter, a total number of 581392 patent applications is found related with defense technologies. The statistics and results that will be used in the following sections will be based on this data set.

3. RESULTS

In this chapter, various analyses will be made about defense technology patents. These analyses will be carried out according to total patents number, number of patents by years, number of patents by countries, number of patents by applicants and patent classifications.

3.1 Year-by-Year Analysis

Figure 2 displays patents related to defense applications from the year 2014 to the year 2023. In this figure, the application date is the main parameter for determining 10-year span change of the number of patent applications.

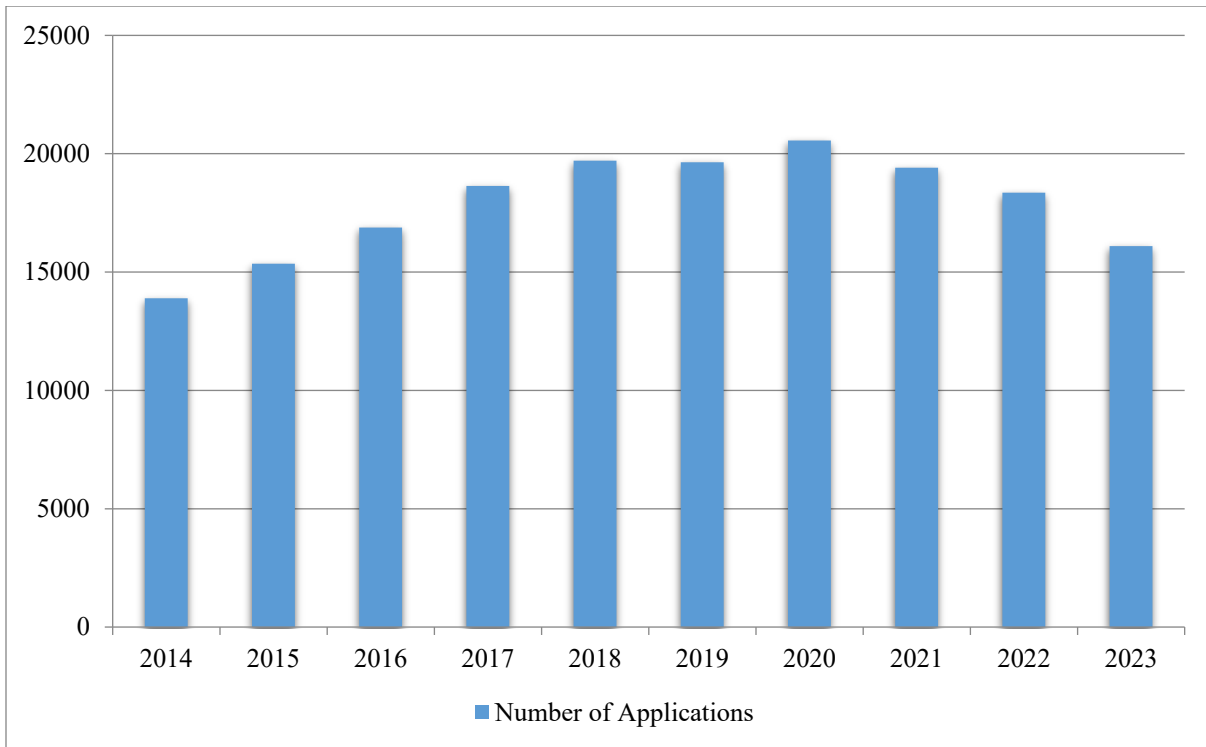


Figure 2 – Number of Applications Related to Defense Technologies

In a 10-year span between 2014 and 2023, patent applications about defense technologies reaches its peak in 2020; 20562 applications are found in the GPI database. While an increasing trend can be observed about defense technology patent applications until 2020; after this year the number of applications slightly decreases every year. In 2023, 16097 applications about defense technology are observed.

3.2 Application Country Analysis

A patent as a strategic tool serves both as an isolating tool (it provides a means to keep competitors away) and a tool for interaction (it provides a mechanism and a reason to set up relationship). In this sense, the offices where inventors apply their patent applications play an important function. The organization working in a specific country may not always file a patent application only in that country, determining defensive and offensive strategies and proceeding applications to the offices of countries where the protection of the invention is considered as critical are seen as one of the important elements in patent portfolio management. Figure 3 shows top 20 application countries that are applied defense applications related patents based on their percentages.

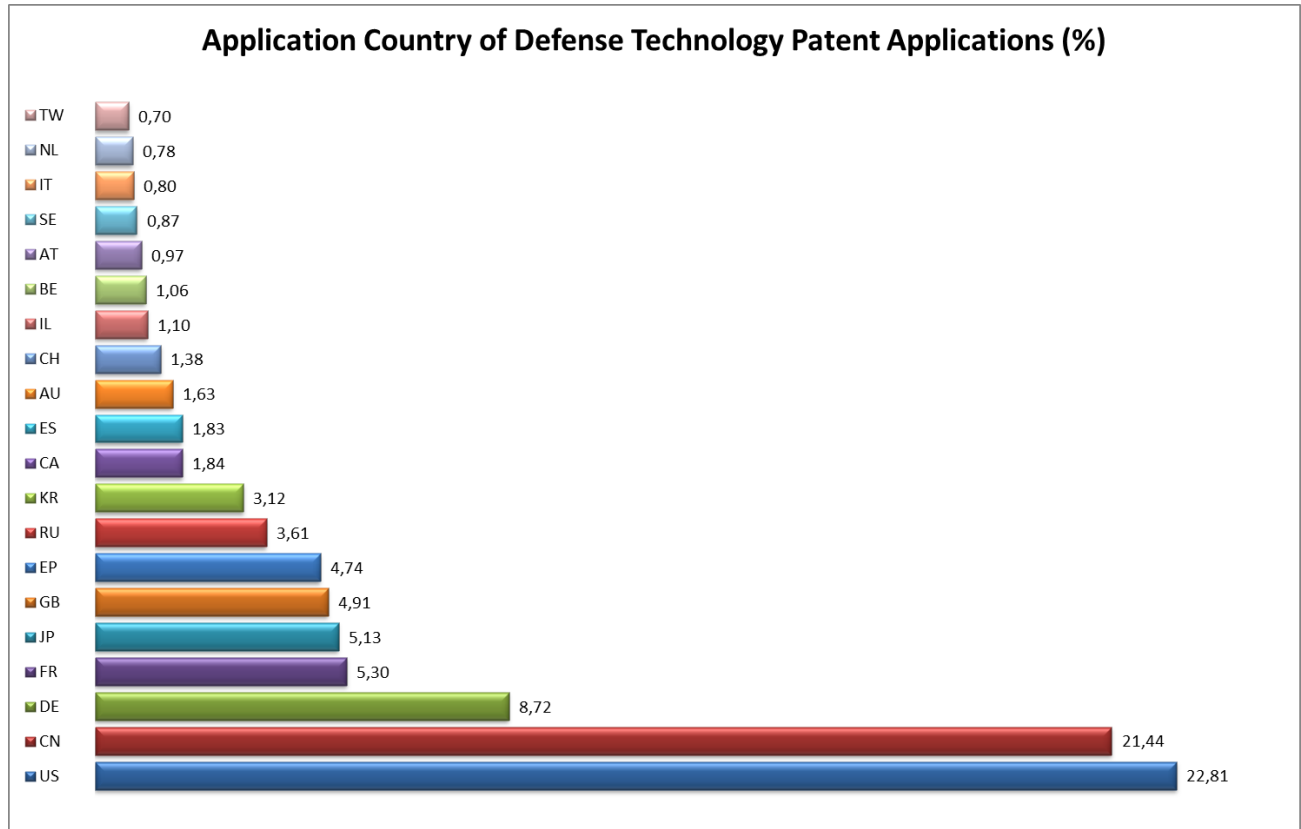


Figure 3 – Countries that are Applied Most Defense Technology Patent Applications (%)

According to Figure 3, most patent applications related to defense technologies are applied to United States. Nearly 23 percent of applications are made to the United States of America. China is a close second with %21,44 of defense technology applications. Based on the distribution of the patent applications; United States and China are observed as the most important countries that defense technology inventions are desired to be protected with patent rights. Countries as France, Japan and Great Britain are third, fourth and fifth, respectively. Türkiye is in the 27th place that most patent applications related to defense technologies have been made with %0,36, a lower place that is expected compared to its R&D budget. Negatively, it can be claimed that it is an indicator that Türkiye, which attaches great attention to innovation initiatives in the field of defense technologies and accelerates these activities, has not taken sufficient steps to reap the economic fruits of these developments. On the positive side, Türkiye, which does not have an intensive number of applications in terms of industrial property rights in this field, has a comfortable ecosystem from the perspective of freedom to operate. However, it is important to remember that these statistics are based on all patent applications that are applied to these countries in history. Years between 2014 and 2023 can tell a different story. Figure 4 shows top 20 application countries that are applied defense applications related patents between 2014 and 2023.

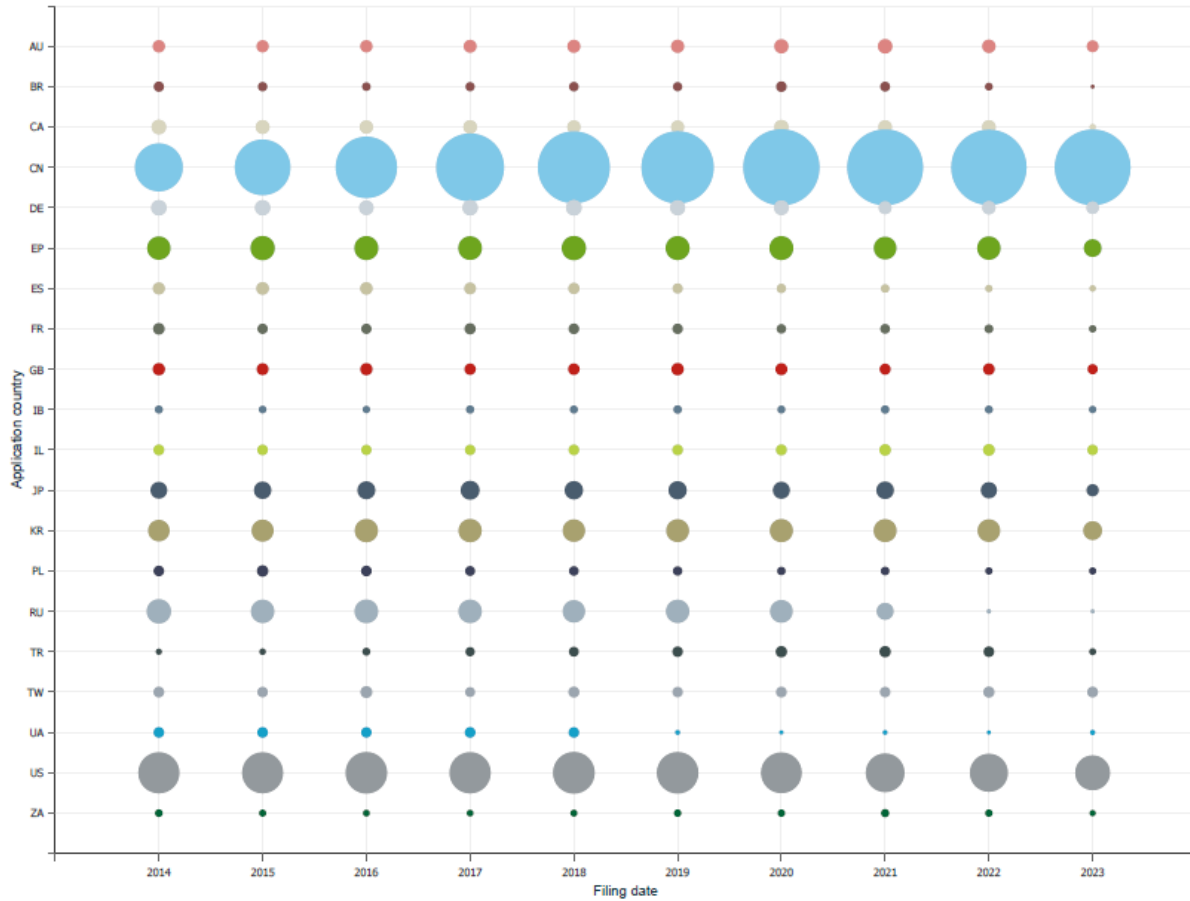


Figure 4 – Countries that are Applied Most Defense Technology Patent Applications Between 2014-2023

Figure 4 indicates that China surpassed all other countries including United States in terms of defense technology patent applications between the years of 2014 and 2023. China has also the trend of extending its lead; at 2014, 4342 applications were applied to China and 3149 applications were applied to United States. At 2023, the numbers of applications to China were drastically changed to 11215 while applications that were applied to United States were 2214. These numbers show that China has been undertaking a serious innovation breakthrough in the field of defense technologies. At 2014, Türkiye is in the 20th position of applied countries. Due to progress of R&D works and national industrial property ecosystem, Türkiye climbed to 12th position in terms of countries that have most patent applications related to defense technologies. At 2023, a decline can be seen –probably due to late publications- but alongside with China, an increasing trend can be observed about the defense related applications in Türkiye.

3.3 Classification Analysis

The International Patent Classification (IPC), established by the Strasbourg Agreement 1971, provides for a hierarchical system of language independent symbols for the classification of patents and utility models according to the different areas of technology to which they pertain. This classification system is sorted into sections, classes, subclasses, main groups and subgroups. Table 3 interprets combined symbols representing the section, class, subclass and main group or subgroup.

Table 3 – Examples of IPC section, class, subclass, main group, subgroup

Symbol	Classification Level	Classification and description

F	Section	Mechanical Engineering; Lighting; Heating; Weapons; Blasting
F41	Class	Weapons
F41G	Subclass	Weapon Sights; Aiming
F41G 7/00	Main Group	Direction control systems for self-propelled missiles
F41G 7/28	Subgroup	Radio guidance systems

As seen at Table 3, The IPC is a classification system that is hierarchical, meaning that the contents of lower levels are subdivided from the contents of upper levels, to which the lower levels are subservient. In order to have a clear separation of the technology fields, the results that is obtained with the search query are classified into IPC subgroups. The reason why the classification here is based on IPC codes instead of CPC is that while all patent offices are using IPC, some offices are not currently practicing CPC in their bibliographic data. Figure 5 displays 20 top subclasses of defense technology applications.

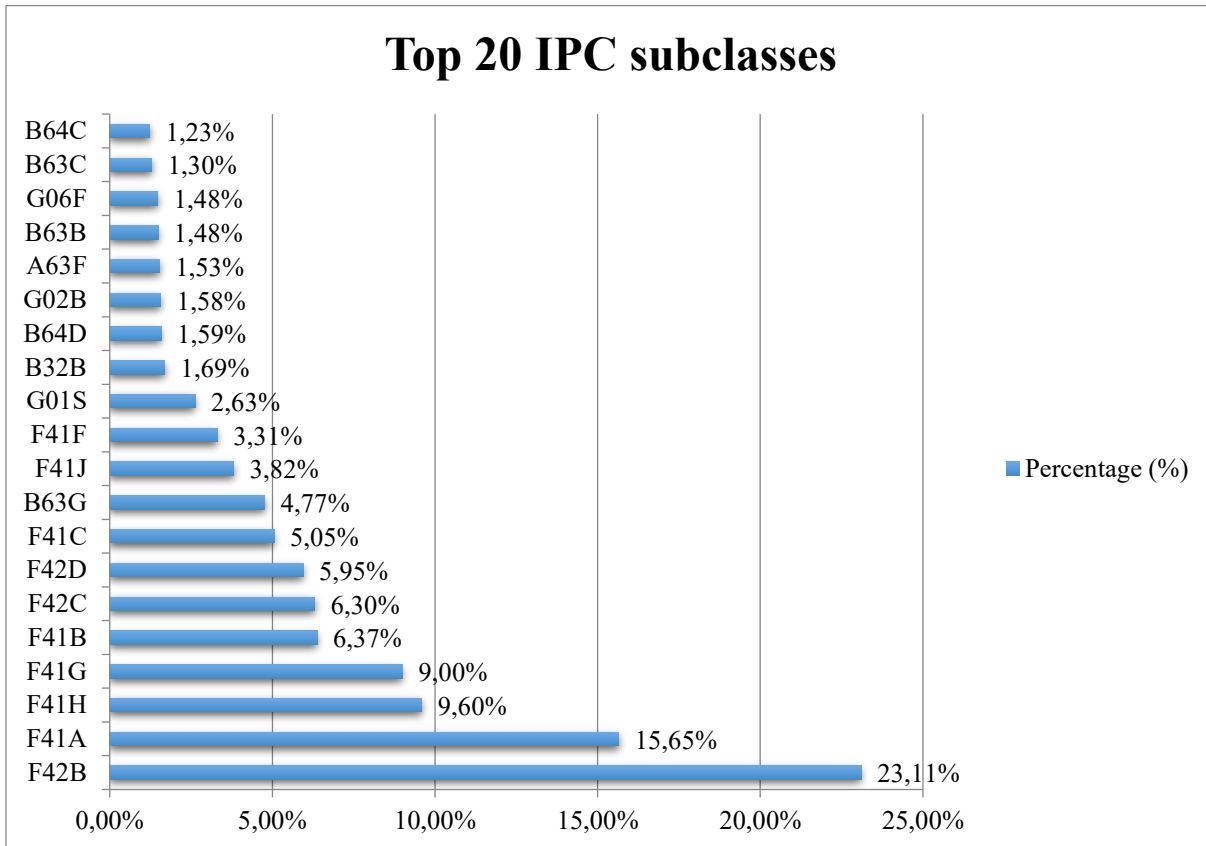


Figure 5 – Top IPC Subclasses of Applications (%)

The IPC subclass which have the most defense technology applications is F42B, “Explosive Charges, e.g. For Blasting; Fireworks; Ammunition”. More than 23 percent of defense technology applications belongs to this subclass. Following IPC subclass is F41A, which defines “Functional Features Or Details Common To Both Smallarms And Ordnance, e.g. Cannons; Mountings For Smallarms Or Ordnance”. This subclass contains 15,65 percentage of all defense technology applications. The third, fourth and fifth subclasses that comes after these IPC subclasses are below with their descriptions:

F41H: Armour; Armoured Turrets; Armoured Or Armed Vehicles; Means Of Attack Or Defence, e.g. Camouflage, In General

F41G: Weapon Sights; Aiming

F41B: Weapons for Projecting Missiles Without Use of Explosive or Combustible Propellant Charge; Weapons Not Otherwise Provided for.

In terms of IPC classes, F41 (Weapons) and F42 classes (Ammunition; Blasting) are leading the way for defense technology applications. These insights clearly illustrate the application trends of stakeholders engaged in innovative work in the field of defense technologies. The data shows which technologies defense companies primarily focus on in their R&D activities and in which areas they produce inventions worthy of patent registration. However, given that university applications are not limited to a single technology area, a more in-depth analysis of technical field associations between applications is required. The frequency of co-occurrence of IPC subclasses used in patent applications indicates what associations occur when applications cover more than one technical field. Analyzing this co-occurrence helps us to understand what kind of interdisciplinary collaborations and innovations are emerging in specific technical fields. Figure 6 below shows a network of the most common technical field associations in defense technology applications.

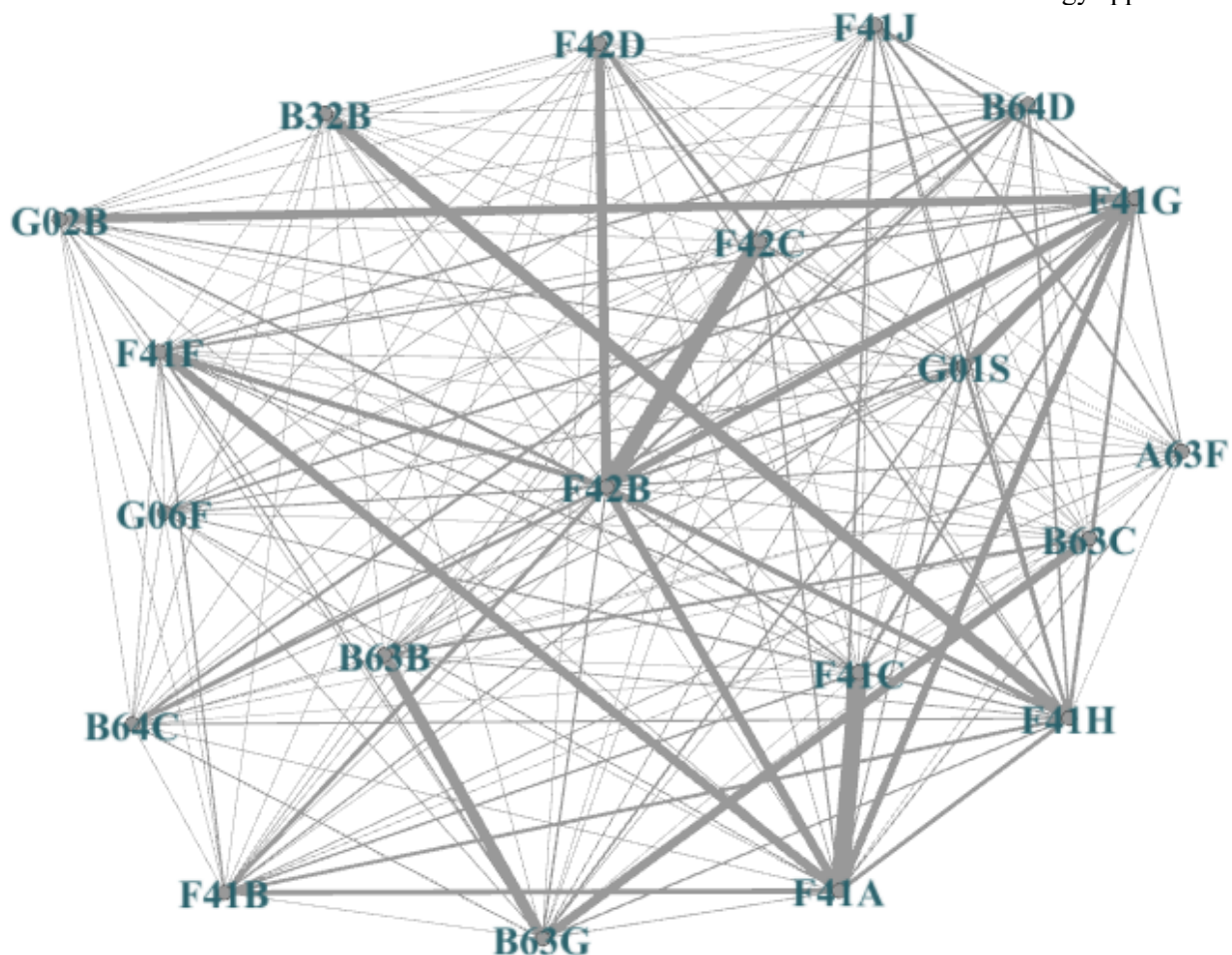


Figure 6 – Technical Association of Defense Technology Applications

This figure is created with the GEPHI 0.10.1 interface and represents the association of different technology fields in defense technology applications. Patent applications do not only have to covered by only one patent class/subclass, they may also include more than one patent class/subclass. Figure 6 shows a network topology showing to which classes defense technology applications with multiple patent subclasses belong. The strongest networks in the figure are seen between IPC subclasses F41A (Functional Features Or Details Common To Both Smallarms And Ordnance, e.g. Cannons; Mountings For Smallarms Or Ordnance)-F41C (Smallarms, e.g. Pistols or Rifles) (15891 references) and F42B (Explosive Charges, e.g. for Blasting; Fireworks; Ammunition)-F42C (Ammunition Fuzes) (14294 references). Additionally, the IPC subclasses

F42B-F42D (Blasting) (8580 references) F41G (Weapon Sights; Aiming)-G01S (Radio Direction-Finding; Radio Navigation; Determining Distance or Velocity by Use of Radio Waves; Locating or Presence-Detecting by Use of The Reflection or Reradiation of Radio Waves; Analogous Arrangements Using Other Waves) (8536 references) and F42B-F41A (7549 references) stand out as the most frequently co-occurring references. Subclasses with no nodes are A63F (Card, Board or Roulette Games; Indoor Games Using Small Moving Playing Bodies; Video Games; Games not Otherwise Provided for)-B63C (Launching, Hauling-Out, or Dry-Docking of Vessels; Life-Saving in Water; Equipment for Dwelling or Working Under Water; Means for Salvaging or Searching for Underwater Objects). No patent application with these subclasses in common was detected in the search query.

4. DISCUSSION

Defense technologies have been at the forefront of innovations and technological advancements in many moments of the modern era, and these innovations are also measurable from a patent perspective. In this study, some analyses were conducted on the GPI database to examine defense technologies in terms of patents. Based on the years 2014-2023, a fluctuating trend is observed in terms of the number of applications. Until 2020, the number of applications showed a general upward trend, peaking in 2020 (20562 applications). Declines were observed in the following years. The concept of “trade secret” and “confidential information” is considered to be a factor in these decreases. Since disclosing information may help competitors to develop competing innovations based on a similar technological approach, firms may opt to keep their inventions secret. Confidential knowledge for a defense technology corporation refers to sensitive information that, if disclosed without proper authorization, could compromise national security, reduce competitive advantage, or violate legal and regulatory obligations.

In patent applications, the country of the applicant and the office where the application is filed do not always have to be the identical. When the countries with the highest number of applications in the field of defense technologies are examined in Figure 3, it is revealed that the U.S.A. and China take the first and second place with very close ratios. The country of application is a good indicator of the value of the markets of the country in question. According to Figure 3, it can be concluded that China is very close to the U.S. in the defense technologies market. In addition, the accelerated rise of China is well illustrated in Figure 4. In 2023, the number of applications filed to China is 5 times higher than the number of applications filed to United States Patent and Trademark Office. Patents support the establishment of the market in several key ways. At this pace, it is predicted that China will completely take the lead in the market in the near future.

Patent identification is the most important base for searching. In order to achieve a correct identification, classification systems like IPC and CPC are used. When analyzed on a class basis, weapons and technology areas such as explosions and bullets still lead the field of defense technologies. B63 class, “Ships or Other Waterborne Vessels” is another class that stands out. However, F41 and F42 classes still cover the majority of defense technologies. Subclasses can be considered the optimum point for technology segregation, therefore, explosive charges is identified as the most common defense technology as a single sub-domain. Smallarms features, armour, aiming are following IPC subclasses that are used for most applications. Table 4 shows the descriptions of all top 20 IPC subclass symbols for defense applications.

Table 4 – Description of Top 20 IPC subgroups for Defense Technologies

IPC subclass symbols	Description of the symbol
F42B	Explosive Charges, e.g. for Blasting; Fireworks; Ammunition
F41A	Functional Features or Details Common to Both Smallarms and Ordnance, e.g. Cannons; Mountings for Smallarms or Ordnance
F41H	Armour; Armoured Turrets; Armoured or Armed Vehicles; Means of Attack or Defence, e.g. Camouflage, in General
F41G	Weapon Sights; Aiming

F41B	Weapons for Projecting Missiles Without Use of Explosive or Combustible Propellant Charge; Weapons not Otherwise Provided for
F42C	Ammunition Fuzes
F42D	Blasting
F41C	Smallarms, e.g. Pistols or Rifles; Accessories Therefor
B63G	Offensive or Defensive Arrangements on Vessels; Mine-Laying; Mine-Sweeping; Submarines; Aircraft Carriers
F41J	Targets; Target Ranges; Bullet Catchers
F41F	Apparatus for Launching Projectiles or Missiles From Barrels, e.g. Cannons; Launchers for Rockets or Torpedoes; Harpoon Guns
G01S	Radio Direction-Finding; Radio Navigation; Determining Distance or Velocity by Use of Radio Waves; Locating or Presence-Detecting by Use of The Reflection or Reradiation of Radio Waves; Analogous Arrangements Using Other Waves
B32B	Layered Products, i.e. Products Built-Up of Strata of Flat or Non-Flat, e.g. Cellular or Honeycomb, Form
B64D	Equipment for Fitting in or to Aircraft; Flight Suits; Parachutes; Arrangement or Mounting of Power Plants or Propulsion Transmissions in Aircraft
G02B	Optical Elements, Systems or Apparatus
A63F	Card, Board or Roulette Games; Indoor Games Using Small Moving Playing Bodies; Video Games; Games not Otherwise Provided for
B63B	Ships or Other Waterborne Vessels; Equipment for Shipping
G06F	Electric Digital Data Processing
B63C	Launching, Hauling-Out, or Dry-Docking of Vessels; Life-Saving in Water; Equipment for Dwelling or Working Under Water; Means for Salvaging or Searching for Underwater Objects
B64C	Aeroplanes; Helicopters

Table 4 displays single IPC subclasses, but for most of the situations it is not enough to cover a patent application with one subclass. For a large portion of defense applications, technology fields have to be in association with each other. It is important to note that although the most used IPC subclass is F42B for defense technologies; most co-used IPC subclasses F41A and F41C. The fact that these IPC subclasses are on smallarms is one of the major factors for this situation. Besides this association, explosive charges and fuzes; explosive charges and blasting; aiming and radio-direction finding are technologies that are connected and work together. Video games and means for underwater objects are seen least relevant technologies with each other.

5. CONCLUSION

A patent is a maximum 20 year limited-duration industrial right that an inventor or innovation applicant is awarded by a patent office. The privilege of preventing others from producing, using, selling, or importing an invention is what a patent right offers, but it does not confer the right to do so. The individual or entity requesting the patent right is required to make the innovation publicly known in return for the patent. The implementation of technology in military operations, including the creation, acquisition, and deployment of systems and equipment utilized by armed forces to safeguard national interests, is referred to as defense technology. Scientists and engineers frequently conduct research and develop defense technology for the military to use in combat. Military assistance for scientific research led to the development of several new inventions. In contrast, military science is the academic discipline that focuses on the ideas, tactics, principles, and theories of battle. Scientists and engineers frequently conduct research and develop defense technology for the military to use in combat. Military assistance for scientific research led to the

development of several new inventions. In contrast, military science is the academic discipline that focuses on the ideas, tactics, principles, and theories of battle.

Evaluating the development of defense technologies from the standpoint of patents, one of the most significant results of R&D activities, is vital in a circumstance where defense technologies have such an important place for R&D activities. Several evaluations of military technology patents will be conducted in this study, and the field's industrial property ecosystem will be assessed in light of these analyses. The total number of patents, the number of patents by year, the number of patents by country, and the patent classifications will all be considered in these analyses.

The Global Patent Index (GPI) is the database that was used in this investigation. You can do thorough searches in the EPO's global full-text, legal event, and bibliographic data sets with GPI. A total of 581392 patent applications pertaining to defense technology are obtained by combining pertinent keywords associated with defense applications and applying an application filter to the results.

The GPI database contains 20562 patent applications pertaining to defense technologies, which peaked in 2020 during the 10-year period between 2014 and 2023. Up until 2020, there was a noticeable upward trend in the number of defense technology patent applications; however, following 2020, the number of applications gradually declined annually. 16097 defense-related applications were noted in 2023.

The United States receives the majority of patent applications pertaining to defense technologies. The United States of America receives over 23% of all applications. With 21.44% of defense technology applications, China comes in second. China and the United States are the two most significant nations where patent rights are sought for military technology inventions, according to the distribution of patent applications. However, between 2014 and 2023, China outperformed all other nations, including the US, in terms of defense technology patent applications. In 2014, 3149 applications were submitted to the United States, while 4342 applications were submitted to China, demonstrating China's tendency to maintain its dominance. In 2023, there were 11215 applications to China, a significant increase over the 2214 applications to the United States. These figures demonstrate that China has been making significant strides in defense technology innovation. Turkey is ranked 20th among applied nations as of 2014. Turkey rose to 12th place among nations with the most defense-related patent applications as a result of advancements in R&D projects and the country's industrial property environment.

F41 (Weapons) and F42 (Ammunition; Blasting) IPC classes are setting the standard for defense technology applications. F42B, "Explosive Charges, e.g. For Blasting; Fireworks; Ammunition," is the IPC subclass with the greatest number of defense technology applications. This subclass accounts for over 23% of defense technology applications. F41A, which covers "Functional Features Or Details Common To Both Smallarms And Ordnance, e.g. Cannons; Mountings For Smallarms Or Ordnance," is the next IPC subclass. Fifteen-six percent of all defense technology applications fall within this group. F41H, F41G and F41B are the third, fourth, and fifth subclasses that follow these IPC subclasses.

Applications for patents may contain more than one patent class or subclass; they are not limited to covering just one. The chart shows the strongest networks between IPC subclasses F41A-F41C and F42B-F42C. Additionally, the most commonly occurring co-occurring references are the IPC subclasses F42B-F42D, F41G-G01S, and F42B-F41A. A63F-B63C are subclasses that have no nodes.

ACKNOWLEDGEMENTS

I would like to express my deepest thanks and respect to my esteemed tutor Prof. Dr. Hüseyin CANBOLAT, who supported me while preparing this paper and guided my studies with his vast knowledge and experience.

REFERENCES

- Cantrell, R. L. (2009). Outpacing the competition: patent-based business strategy. John Wiley & Sons.
- Chakrabarti, A. K., & Anyanwu, C. L. (1993). Defense R&D, technology, and economic performance: A longitudinal analysis of the US experience. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 40(2), 136-145.
- Cooperative Patent Classification (2024) Wikipedia. Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Cooperative_Patent_Classification.
- Crass, D., Garcia Valero, F., Pitton, F., & Rammer, C. (2019). Protecting innovation through patents and trade secrets: Evidence for firms with a single innovation. *International Journal of the Economics of Business*, 26(1), 117-156.
- Global Patent Index (GPI) | WIPO Inspire, available at: <https://inspire.wipo.int/global-patent-index-gpi>
- Hammes, T. X. (2006). *The sling and the stone: on war in the 21st century*. Zenith Press.
- International Patent Classification (2023) Wikipedia. Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/International_Patent_Classification.
- Kellner, D. (2015). Globalization, Terrorism, and Democracy: 9/11 and Its Aftermath 1. In *Contesting Empire, Globalizing Dissent* (pp. 53-77). Routledge.
- Meguro, K., & Osabe, Y. (2019). Lost in patent classification. *World Patent Information*, 57, 70-76.
- Shaffer, G. (2004). Recognizing public goods in WTO dispute settlement: who participates? Who decides? The case of TRIPS and pharmaceutical patent protection. *Journal of International Economic Law*, 7(2), 459-482.
- Spulber, D. F. (2015). How patents provide the foundation of the market for inventions. *Journal of Competition Law & Economics*, 11(2), 271-316.
- Terriff, T., Karp, A., & Karp, R. (2008). *Global Insurgency and the future of Armed Conflict. Debating fourth-generation warfare*. Routledge, New York.
- Vajiram & Ravi (2025) Defence Technology, conventional and emerging, challenges, Vajiram & Ravi. Available at: <https://vajiramandravi.com/quest-upsc-notes/defence-technology/>

ENDOMETRİOZİSDE ENFLAMASYONUN HÜCRESEL VE MOLEKÜLER DÜZEYDE İNCELENMESİ

Tuğba Çevik

Marmara Üniversitesi / Sağlık Bilimleri Enstitüsü/ Biyofizik Anabilim Dalı
tugbacveik@yandex.com.tr, ORCID: 0009-0008-0509-5519

Gizem Ayermolalı

Marmara Üniversitesi / Sağlık Bilimleri Enstitüsü/ Biyofizik Anabilim Dalı
gizemayermolali@gmail.com, ORCID 0009-0009-0069-3242

Zehra Kanlı

Marmara Üniversitesi / Tıp Fakültesi / Biyofizik Anabilim Dalı
zehraknli@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5169-9999

Hülya Cabadak

Marmara Üniversitesi / Tıp Fakültesi / Biyofizik Anabilim Dalı
hcabadak@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5757-2198

Banu Aydın

Marmara Üniversitesi / Tıp Fakültesi / Biyofizik Anabilim Dalı
banuaydin@gmail.com, ORCID: 0000-0002-3267-8620

Özet

Amaç: Endometriozis, östrojene bağımlı iyi huylu bir hastalık olmakla birlikte, kronik enflamasyonla karakterize olup endometrial ve over kanserleri ile ilişkili olabilmektedir. Bu çalışmada, endometrial kanser hücre hatları kullanılarak enflamatuar süreçlerin karsinogenez üzerindeki etkileri, sinyal iletim yolları ve hücrel yanıtlar düzeyinde incelenmiştir.

Yöntem: Endometrial hücre hatları, çeşitli enflamasyon faktörleri ile birlikte epidermal büyüme faktörü (EGF) reseptör agonisti ve antagonisti ile muamele edilmiştir. Hücre proliferasyonu MTT yöntemiyle değerlendirilmiştir. Her bir koşulda hücre sayıları yapılmış ve istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. **Bulgular:** Hücre sayısı sonuçlarına göre, EGF agonist uygulaması hücre proliferasyonunu anlamlı şekilde artırırken, antagonist uygulaması bu etkiyi baskılamıştır. Enflamasyon faktörlerinin tek başına veya EGF ile birlikte uygulanması hücre çoğalmasında sinerjik artışlara neden olmuştur.

Sonuç: Elde edilen bulgular, endometriozis ve ilgili jinekolojik kanserlerde enflamasyonun hücre proliferasyonu ve sinyal iletim mekanizmaları üzerinden kanserleşme sürecine katkı sağlayabileceğini göstermektedir. Enflamasyon faktörlerinin ve EGF yollarının hedeflenmesi, tedavi stratejileri açısından potansiyel taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler: Endometriozis, enflamasyon, endometrial kanser, EGF, hücre sayısı

CELLULAR AND MOLECULAR INVESTIGATION OF INFLAMMATION IN ENDOMETRIOSIS

Abstract

Objective: Endometriosis is an estrogen-dependent benign disease, characterized by chronic inflammation, and may be associated with endometrial and ovarian cancers. In this study, the effects of inflammatory processes on carcinogenesis, signal transduction pathways, and cellular responses were investigated using

endometrial cancer cell lines. Method: Endometrial cell lines were treated with epidermal growth factor (EGF) receptor agonists and antagonists along with various inflammatory factors. Cell proliferation was assessed using the MTT method. Cell counts were performed under each condition and statistically evaluated. Findings: According to cell count results, EGF agonist application significantly increased cell proliferation, while antagonist application suppressed this effect. Application of inflammatory factors alone or together with EGF caused synergistic increases in cell proliferation. Conclusion: The findings obtained indicate that inflammation may contribute to the cancerization process via cell proliferation and signal transduction mechanisms in endometriosis and related gynecological cancers. Targeting inflammatory factors and EGF pathways holds potential for treatment strategies.

Keywords: Endometriosis, inflammation, endometrial cancer, EGF, cell proliferation

GİRİŞ

Endometrioz, östrojene bağımlı iyi huylu jinekolojik bir hastalıktır ve endometrial dokunun uterus boşluğundan ektopik yayılması ile tanımlanır. Dünya genelinde üreme çağındaki kadınların yaklaşık %10'u endometriozdan etkilenir (1,2).

Ektopik endometriyal dokular; glandüler ve stromal hücreler, makrofajlar, sinirler ve kan damarlarından oluşur (3). Endometrioz, kronik enflamatuar bir bozukluk olarak kabul edilir. Endometriotik lezyonlarda ve periferik sıvıda bulunan enflamatuar hücrelerde, sitokinler ve kemokinler gibi mikro çevrelerini oluşturan ortamlarda bir dizi değişiklikler oluşturur.

Makrofajlar, mast hücreleri, nötrofiller gibi enflamatuar hücrelerden salınan sitokinlerin endometrioz hastalarında arttığı ve hastalıkla ilişkili olduğu gösterilmiştir (4,5,6). Makrofajlar, belirli kemokinler ve sitokinler tarafından aktive edildikten sonra endometrioz lezyonlarında bol miktarda bulunur. Bu hücreler, endometriotik lezyonların oluşmasına ve büyümesine katkıda bulunan enflamatuar bir mikro çevre oluşturarak farklı tipte enflamatuar maddeler salabilir. Buna karşılık, bu değişiklikler makrofajların alınmasına neden olabilir ve sonuç olarak, endometriozun gelişimi sırasında bir kısır döngü oluşturabilir (7). Mast hücreleri, doğuştan gelen ve adaptif bağışıklık sistemlerindeki kritik nöbetçi hücrelerdir. Bu hücreler tüm dokularda bulunur ve özellikle dış enflamatuar uyaranlara ve patojenlere yanıt verebilen dokularda ve mukoz membranlarda bol miktarda bulunur (8). Nötrofiller, doğuştan gelen bağışıklık sisteminin basit askerleri olarak kabul edilir. Nötrofiller akut enflamasyonun başlıca etkileyicileridir ve birçok kanıt, kronik enflamatuar durumların yanı sıra adaptif immün yanıtlara da katkıda bulunduğunu göstermektedir (9).

Nötrofillerin periton boşluğuna infiltrasyonu, sağlıklı kadınlara kıyasla, endometriozu olan kadınlarda, özellikle endometriozun erken evresinde önemli ölçüde artmıştır (10, 11, 12). Fare endometrioz modeli oluşturularak yapılan bir çalışmada, ektopik uterin dokusundaki nötrofil infiltrasyonu 1-5. günlerde zirve yapmış ve ardından 6. veya 7. günde azalmıştır, bu da lezyon gelişiminin erken aşamalarında nötrofillerin önemli bir rol oynadığını düşündürmektedir (1). Endometriozda karın boşluğundaki nötrofiller, etkili bir pro-anjiyogenik faktör olan VEGF (Vascular endothelial growth factor) salgılayabilir böylece endometrioz lezyonlarının büyümesini destekleyebilir (13, 14). Vasküler endotelial büyüme faktörleri (VEGF'ler), sitokinler ve büyüme faktörleri gibi çözünür medyatörlere yanıt olarak eksprese edilen anjiyogenezin hayati düzenleyicileridir. Fizyolojik işlevleri arasında kan damarı oluşumu, vasküler geçirgenliğin düzenlenmesi, kök hücre ve monosit / makrofaj alımı ve kemik homeostazının ve onarımının sürdürülmesi yer alır. Ek olarak, anjiyogenez, tümörögenез, enflamatuar immün hastalıklar ve kemik kaybı gibi kronik patolojik durumlarda önemli rol oynar (15).

Endometriozlu hastalarla yapılan çalışmalarda enflamasyon medyatörlerinin rolleri gösterilmiştir: En büyük interlökin ailesi IL-1 ailesidir. IL-1, doğuştan gelen bağışıklık ve enflamasyonun merkezi bir medyatörüdür.

IL-1 ailesi, agonist aktiviteye sahip yedi ligand (IL-1, IL-1 β , IL-18, IL-33, IL-36 α , IL36 β ve IL36 γ), üç reseptör antagonisti (IL-1R α , IL-36R α , ve IL-38) ve bir anti-inflamatuar sitokin (IL-37) içerir (17). IL-1, esas olarak monositler ve makrofajlar tarafından üretilir. IL-1'in konsantrasyon seviyesinin, endometrioz hastalarının peritoneal sıvıda, serum ve lezyonlarında artmış olduğu gösterilmiştir.

Çalışmamızda; endometri al adenokarsinoma hücre hattı ile enflamasyon modeli oluşturulmuş endometrium hücre modelleri ve normal fibroblast hücre hatları arasında enflamasyona neden olan medyatörlerin hücre çoğalması ve kanserleşmeye etkisi 2 boyutlu hücre kültürleri oluşturarak belirlenmiştir.

Kanser hücre çoğalmasında rolü olduğu bilinen epidermal büyüme faktörü ve östrojenin hücre çoğalmasına katkısı gösterilmiştir .

MATERYAL VE METOD

Hücre Çoğalması

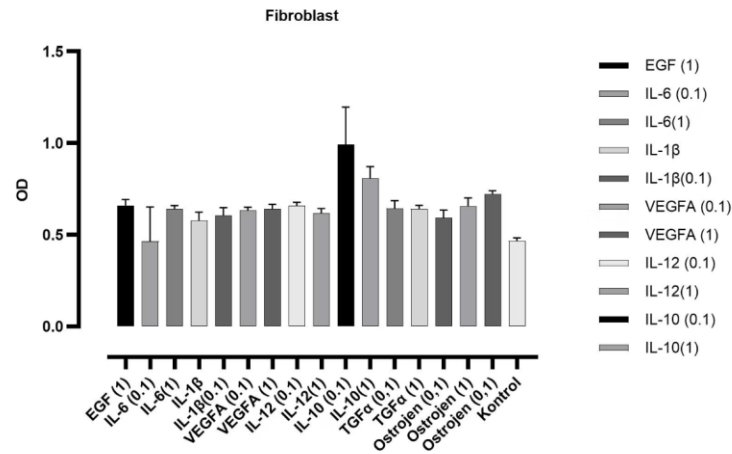
Endometriyum ve fibroblast hücre hatları çoğaltılarak enflamasyon medyatörleri, EGF ve östrojen ile muamale edilerek kanserleşme sürecine etkisi belirlenmiştir. Endometrium, Ishikawa, ve fibroblast hücre hatları %10 fetal dana serumu ve penisilin/streptomisin içeren Dulbecco Minimal Essential Medium (DMEM) veya RPMI-1640 (ATCC'nin önerdiği hücre hatlarına uygun olan hücre kültür ortamları) içeren kültür ortamında %5 CO₂ varlığında çoğaltılmıştır. İlaç muamelesi ve hücre sitotoksitesi hücreler 106 hc/ml ve >95 canlılık koşullarına gelene kadar çoğaltılmış, 1 gün serumsuz DMEM kültür ortamı ile beslenmiştir. Hücreler 24 saat sonra %1 FBS içeren kültür ortamına eklenen enflamasyon medyatörleri, EGF ve östrojenle muamele edilmiştir.

Hücre Sayımı

İlaçların uygun konsantrasyonu, deneylerin başlangıcında; artan konsantrasyonlarda (0, 1, 10, 100 μ M) ilaçlarla muamele edilen hücrelerin MTT sitotoksosite tayini ile belirlenmiştir. İlaçlarla muamele edilen hücreler 1 gün inkübe edildikten sonra 10 μ l “MTT labeling reagent” (final konsantrasyonu 0.5 mg/ml) herbir kuyuya eklenecektir. Hücreler 4 saat 37°C' ta, %5 CO₂ varlığında inkübe edilmiştir. Her kuyuya 100 μ l “Solubilization” çözeltisi eklenmiştir. 96 kuyulu kap bir gece 37°C' ta, %5 CO₂ varlığında inkübe edilmiştir. Mikro kuyucuklu plaka 650 nm dalga boyunda eliza okuyucuda okunmuştur.

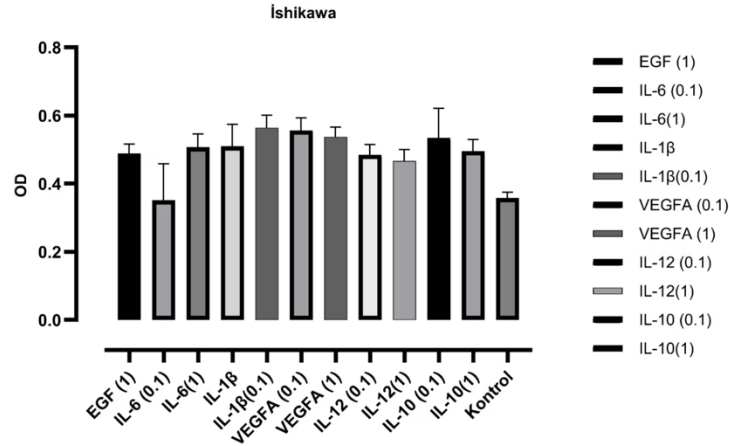
BULGULAR

Enflamatuar Sitokinlerin Hücre Proliferasyonuna Etkisi



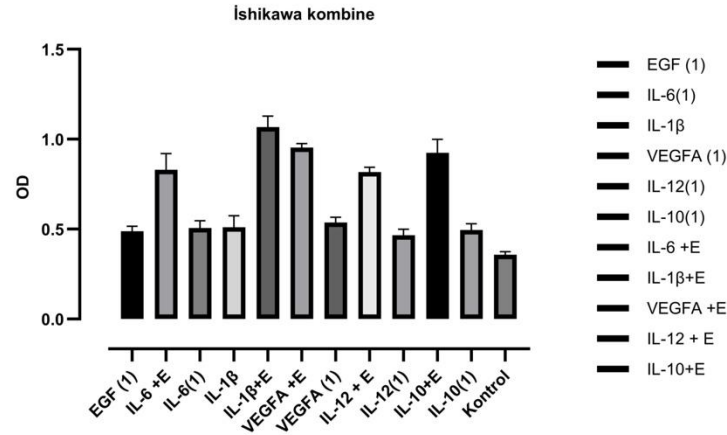
Şekil 1.

Kontrol hücre grubu olarak kullanılan fibroblastların enflamatuvar sitokinler ve EGF ile muamele edilmesinin hücrelerde toksik etki oluşturmaksızın hücre çoğalmasına neden olduğunu göstermektedir. Endometriozis modeli için Ishikawa hücreleri enflamatuvar sitokinler ile yedi gün iyi ayrı ilaç konsantrasyonunda muamele edilmiştir. Deney sonuçlarımız enflamatuvar sitokinlerin hücrelerde toksik etki oluşturmaksızın hücre çoğalmasına neden olduğunu göstermektedir.



Şekil 2.

Enflamatuvar sitokinlerin etkisi altında gözlenen bu proliferatif yanıt, endometriozis lezyonlarının gelişiminde kritik önem taşımaktadır. Bu sonuçlar, enflamatuvar faktörlerin endometriozis patogeneğinde hücre çoğalmasını teşvik ederek kritik bir rol oynadığını güçlü bir şekilde destekliyor. Grafikte sunulan veriler istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p < 0.05$).



Şekil 3.

Enflamatuvar sitokinlere maruz kalan endometriyal hücrelerde kontrol grubuna kıyasla %68 oranında proliferasyon artışı olduğunu göstermektedir.

Özellikle IL-6 ve TNF- α kombinasyonu, hücre çoğalmasında en yüksek etkiyi göstermiştir ($p < 0.01$). Bu bulgu, kronik enflamasyonun endometriozis lezyonlarının gelişiminde doğrudan rol oynadığını doğrulamaktadır.

TARTIŞMA

Endometrioziste enflamasyon yolağı; endometrial lezyonlar, sitoki ve büyüme faktörü salınımı, hücre proliferasyonunda artış sonrasında ise onkojenik dönüşümle kansere gittiği öngörülmektedir.

Araştırmamızda elde edilen bulgular, endometriozis ve enflamasyon arasındaki karmaşık ilişkiyi doğrulamaktadır. Enflamatuar sitokinlerin hücre proliferasyonu üzerindeki etkisi, hastalığın patofizyolojisinde kronik enflamasyonun merkezi bir rol oynadığını göstermektedir.

Sitokin Etkileri; IL-6 ve TNF- α 'nın sinerjistik etkisi, endometriyal hücrelerin anormal çoğalmasını tetikleyerek, lezyonların gelişimini desteklemektedir.

Onkojenik Potansiyel; Kronik enflamasyon ve artan proliferasyon, uzun vadede malign transformasyon riskinin artmasına katkıda bulunabileceğini düşündürmektedir.

Bu sonuçlar, endometriozis tedavisinde antienflamatuar yaklaşımların potansiyel etkinliğini desteklemekte ve erken teşhisin önemini vurgulamaktadır.

KAYNAKLAR

1. Symons LK, Miller JE, Kay VR, Marks RM, Liblik K, Koti M, Tayade C. The Immunopathophysiology of endometriosis. *Trends Mol Med.* 2018; 24:748–62.
2. Morotti M, Vincent K, Brawn J, Zondervan KT, Becker CM. Peripheral changes in endometriosis-associated pain. *Hum Reprod Update.* 2014; 20:717–36.
3. McKinnon BD, Bertschi D, Bersinger NA, Mueller MD. Inflammation and nerve fiber interaction in endometriotic pain. *Trends Endocrinol Metab.* 2015; 26:1–10.
4. Tran LV, Tokushige N, Berbic M, Markham R, Fraser IS. Macrophages and nerve fibres in peritoneal endometriosis. *Hum Reprod.* 2009;24: 835–41.
5. Capobianco A, Rovere-Querini P. Endometriosis, a disease of the macrophage. *Front Immunol.* 2013; 4:9.
6. Pepe G, Locati M, Della TS, Mornata F, Cignarella A, Maggi A, Vegeto E. The estrogen-macrophage interplay in the homeostasis of the female reproductive tract. *Hum Reprod Update.* 2018;24: 652–72.
7. Wei Y, Liang Y., Lin H., Dai Y., Yao S. Autonomic nervous system and inflammation interaction in endometriosis-associated pain. *Journal of Neuroinflammation*, 2020; 17:80.
8. Olivera A, Beaven MA, Metcalfe DD. Mast cells signal their importance in health and disease. *J Allergy Clin Immunol.* 2018; 142:381–93.
9. Kolaczowska E, Kubes P. Neutrophil recruitment and function in health and inflammation. *Nat Rev Immunol.* 2013;13: 159–75.
10. Burns KA, Thomas SY, Hamilton KJ, Young SL, Cook DN, Korach KS. Early endometriosis in females is directed by immune-mediated estrogen receptor alpha and IL-6 cross-talk. *Endocrinology.* 2018;159: 103–18.
11. Takamura M, Koga K, Izumi G, Urata Y, Nagai M, Hasegawa A, Harada M, Hirata T, Hirota Y, Wada-Hiraike O, et al. Neutrophil depletion reduces endometriotic lesion formation in mice. *Am J Reprod Immunol.* 2016; 76:193–8.
12. Wang XM, Ma ZY, Song N. Inflammatory cytokines IL-6, IL-10, IL-13, TNFalpha and peritoneal fluid flora were associated with infertility in patients with endometriosis. *Eur Rev Med Pharmacol Sci.* 2018; 22: 2513–8.
13. Wang XM, Ma ZY, Song N. Inflammatory cytokines IL-6, IL-10, IL-13, TNFalpha and peritoneal fluid flora were associated with infertility in patients with endometriosis. *Eur Rev Med Pharmacol Sci.* 2018; 22:2513–8.
14. Na YJ, Yang SH, Baek DW, Lee DH, Kim KH, Choi YM, Oh ST, Hong YS, Kwak JY, Lee KS. Effects of peritoneal fluid from endometriosis patients on the release of vascular endothelial growth factor by neutrophils and monocytes. *Hum Reprod.* 2006; 21:1846–55.

15. Niklander S., Bordagaray MJ., Fernández A., Hernández M. Vascular Endothelial Growth Factor: A Translational View in Oral Non-Communicable Diseases. *Biomolecules*, 2021 Jan 12;11(1):85.

DIŞSAL MOTİVASYONDA DÖNÜŞÜMSSEL LİDERLİK ETKİSİ

Rabia Çelenk

İstanbul Teknik Üniversitesi / İşletme Fakültesi / Endüstri Mühendisliği Bölümü
celenk22@itu.edu.tr

Doç. Dr. Cemil Ceylan

İstanbul Teknik Üniversitesi / İşletme Fakültesi / Endüstri Mühendisliği Bölümü
ceylan@itu.edu.tr

Özet

Günümüzde organizasyonların hayatta kalabilmesi ve rekabet ortamında devamlılıklarını sürdürebilmeleri oldukça güçleşmiştir. Çevik şirketler bu başarıyı sağlarken, geleneksel ve klasik yönetim anlayışıyla ilerleme niyetinde olan şirketler bu yarışta başarısız olma eğilimindedir. Liderlik anlayışı ve çalışanların motivasyonları organizasyonların hayatta kalabilmesi için önemli parametrelerden bazılarıdır.

Bu çalışma dönüşümsel liderliğin çalışanların dışsal motivasyonlarını nasıl ve hangi yönde etkilediğini incelemektedir. Veriler online anket yöntemiyle toplanmıştır. Çalışmaya 212 kişi katılmıştır ve elde edilen cevaplardan 204 kişinin verdiği cevaplar analize uygun bulunmuştur. Anket sorularının ilk kısmı demografik sorulardan oluşurken, ikinci kısmı ise 25 soruluk dönüşümsel liderlik ve 8 soruluk dışsal motivasyon sorularından oluşmaktadır. Araştırma modeli 18 yaş üstü beyaz yaka çalışanlarına uygulanmıştır. Model değişkenleri arasındaki ilişkiler IBM SPSS 27 paket programı ile çözülmüş ve araştırma sonucunda dönüşümsel liderliğin ilham verici motivasyon boyutu ile bireysel destek boyutunun çalışan dışsal motivasyonunu artırdığı sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Regresyon, Dönüşümsel Liderlik, Dışsal Motivasyon

THE IMPACT OF TRANSFORMATIONAL LEADERSHIP ON EXTRINSIC MOTIVATION

Abstract

Today, it has become very difficult for organizations to survive and maintain their continuity in a competitive environment. While agile companies achieve this success, companies that intend to move forward with a traditional and classical management approach tend to fail in this race. Leadership and employee motivation are some of the important parameters for the survival of organizations.

This study examines how and in which direction transformational leadership affects the extrinsic motivation of employees. Data were collected through an online survey method. 212 people participated in the study and 204 of the responses were found suitable for analysis. The first part of the survey questions consisted of demographic questions, while the second part consisted of 25 questions on transformational leadership and 8 questions on extrinsic motivation. The research model was applied to white-collar employees over the age of 18. The relationships between the model variables were solved with IBM SPSS 27 package program and as a result of the research, it was concluded that the inspirational motivation dimension and individual support dimension of transformational leadership increase the extrinsic motivation of employees.

Keywords: Regression, Transformational Leadership, Extrinsic Motivation

1. GİRİŞ

Geçmişte, liderin özellikle çalışan motivasyonuna ilişkin misyonları açık ve net değildi. Liderler, çalışanlar da dahil olmak üzere paydaşlarla etkili bir ilişki geliştirmenin önemini sıklıkla göz ardı etmekteydi. Günümüzde ise liderlerin bireylere, onların istek ve ihtiyaçlarına göre özelleştirilmiş farklı stratejiler uygulaması gerektiği anlaşılmıştır. Bu nedenle liderlik ve motivasyon konusunun önemi günden güne

artmaya devam etmekle birlikte, giderek daha popüler ve tartışılır hale gelmektedir. Bu iki kavramın öneminin anlaşılmasıyla beraber, çalışma hayatında neleri etkileyebileceği de merak konuları arasında yerini almıştır (Li ve ark., 2012).

Liderlerin davranışlarının, astlarının motivasyonunu etkileyeceğini ve bunun da bir görevin sonucunu etkileyeceği öne sürülmektedir. Çalışanların nelerle motive olabildikleri birçok etmene bağlı olabilmektedir. Bazı çalışanlar sadece iş güvencesiyle motive olurken, bazıları açık şirket politikalarından, güç, tanınma, tazminat veya iş tatminiyle motive olabilmektedir. Motivasyonda sadece paranın rolü olduğu düşünülse de yapılan bazı çalışmalar bunun aksini göstermiştir. Örneğin Rynes ve ark., (2004) paranın çoğu insan için önemli bir motivasyon kaynağı olmasına rağmen birincil motivasyon kaynağı olmadığını savunmuşlardır. Košičiarová ve ark. (2021) liderlik ve motivasyonun kurum kültürüne etkisini incelerken, Salem ve ark. (2022) ise otoriter liderliğin ve motivasyonun iş performansına etkisini incelemiştir (Košičiarová ve ark., 2021; Li ve ark., 2012; Rynes ve ark., 2004; Salem ve ark., 2022).

Bu çalışma ise dönüşümsel liderliğin, beyaz yaka çalışanlarının dışsal motivasyonlarını nasıl ve hangi yönde etkilediğini araştırmak amacıyla yapılmıştır.

2. DÖNÜŞÜMSSEL LİDERLİK

Liderlik için literatürde yapılmış bir çok tanım bulunmaktadır. Genel bir tanım yapacak olursak; liderlik ortak bir hedefi gerçekleştirmek üzere toplanmış bireylerden oluşmuş grubu etkileyebilme, motive edebilme, yönetebilme ve yönlendirebilme kabiliyeti ve organizasyonu oluşturan unsurların bulunduğu ortamda olması beklenen özellikler bütünüdür (Bingöl, 2022; Sever ve Atik, 2021).

Dönüşümsel liderlik; takip edenlerin, liderlerinin sağladığı ilham, kolektif amaç ve yüksek düzeyde paylaşılan vizyon aracılığıyla daha yüksek düzeyde performans göstermeye ilham vererek motive edildiği ve istenen takipçi davranışını teşvik etmeye çalıştığı bir süreç olarak tanımlanır.(Chaman ve ark., 2021; Li ve ark., 2012) Dönüşümcü liderliğin boyutları arasında idealleştirilmiş etki davranış, ilham verici motivasyon, entelektüel uyarım , idealleştirilmiş etki atfedilen ve bireysel destek yer almaktadır (Gündüz, 2015; Kebe ve ark., 2024; Li ve ark., 2012).

3. DIŞSAL MOTİVASYON

Roos ve Van Eeden, (2008) motivasyonun tanımına bakarken kelime kökünün ne anlama geldiğini de çalışmalarında belirtmişlerdir. “Motivasyon” terimi, ‘hareket etmek’ anlamına gelen Latince movere teriminden türetilmiştir. Motivasyon, bir görev için çaba harcamaya başlama, belirli bir miktarda çaba harcama ve devam ettirme niyetidir.

Kreye (2016), Ürün-hizmet sistem sağlayıcılarında çalışan motivasyonunu incelediği çalışmasında, motivasyonu ikiye ayırmaktadır. Birincisi içsel motivasyon iken ikincisi ise dışsal motivasyondur. İçsel motivasyonu, çalışanın işi ve iş faaliyetleri hakkındaki heyecanı ve bu faaliyetleri tamamlama konusundaki ilgisi olarak tanımlamaktadır. Dışsal motivasyonun ise, bireyin örgütsel hedeflere katkısının takdir edilmesi ve tanınmasıyla bağlantılı olduğunu ve finansal teşviklerden, sosyal çevreden kaynaklanabildiğini belirtmektedir.

Başarılı olma, sorumluluk alma, işi sahiplenme gibi faktörler çoğunlukla işi yapanın performansı ile ilgili olan motivasyon faktörleriyken; ücret, yan haklar, terfi vb. unsurlar ise işin dış etkenlerle ilişkili olduğu faktörlerdir. Çalışan motivasyonunda içsel ve dışsal motivasyon etkileyicilerini araştıran Herzberg’in çift faktör kuramına göre; işin içeriği ile ilgili olan içsel motivasyon araçları çalışanı motive ederken, dışsal araçlar ise iş tatminsizliğini gidermeye yöneliktir. Başka bir deyişle teoriye göre, sadece içsel faktörler (başarma, bağımsızlık, iş çeşitliliği, sorumlu olma, yetkinlik geliştirme, çalışanın katma değeri) çalışanlarda yüksek düzeyde motivasyon sağlarken, dışsal motivasyon araçları (çalışma şartları, yan haklar, ücret,

orgaizasyonun çekiciliği, iş güvencesi, terfi, ekip uyumu) çalışanları motive etmemekte fakat motive olmaları için uygun koşulları sağlamaktadır (Argon ve Ertürk, 2013; Kreye, 2016; Trigueros ve ark., 2020).

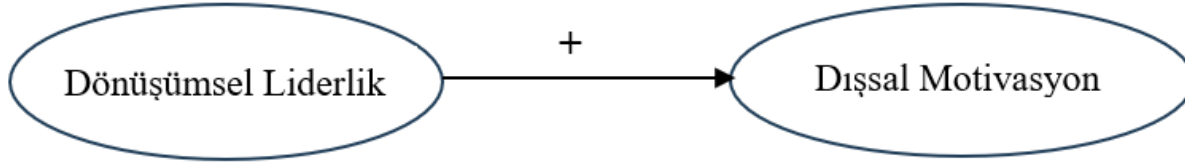
Motivasyon, işletme varlıklarının ortaya çıkan performansının başarısı ve verimliliği için en önemli ön koşullardan biri olarak kabul edilmektedir. Bu bağlamda yöneticilere önemli bir rol düşmektedir. Yöneticiler çalışanların her zaman motive olması için sürekli olarak yeni ve bireysel teşvikler yaratmalıdır (Ponisciakova ve ark., 2023).

4. DÖNÜŞÜMSEL LİDERLİK VE DIŞSAL MOTİVASYON

Organizasyonlardaki yöneticilerin liderlik tarzları farklılık gösterdiği için her bir tarzın çalışanlar üzerinde farklı etkileri olabilmektedir. Graves ve Sarkis, (2018) yaptıkları çalışmada çalışanların yöneticilerin liderliğine ilişkin algılarının, çalışanların içsel ve dışsal motivasyonu ile olumlu yönde ilişkili olduğu sonucuna ulaşırlarken benzer şekilde Smy ve ark., (2016) algılanan dönüşümsel liderlik, eğitmen davranışları ve öğrenme motivasyonunu araştırdıkları çalışmalarında dönüşümsel eğitmen liderlik davranışları ile kursiyerlerin öğrenmeye yönelik motivasyonu arasında pozitif bir ilişki olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Andika ve Xia, (2019) ise yaptıkları çalışmada dönüşümsel liderliğin dışsal motivasyonla doğrusal ve anlamlı bir ilişkiye sahip olduğu sonucuna ulaşmıştır.

4.1. Araştırma Modeli ve Hipotezler

Beyaz yaka çalışanlarına uygulanan bu çalışmada dönüşümsel liderliğin dışsal motivasyon ile ilişkisi olup olmadığını incelemeyi amaçlamaktadır. Literatür taraması ışığında kurulan hipotezlerde, dönüşümsel liderliğin dışsal motivasyon üzerinde pozitif ve anlamlı bir ilişkisi olduğu düşünülmektedir.



Şekil 1. Model

- **H1**= Dönüşümsel liderliğin entelektüel uyarım boyutunun dışsal motivasyon üzerinde pozitif etkisi vardır.
- **H2**= Dönüşümsel liderliğin idealleştirilmiş etki davranış boyutunun dışsal motivasyon üzerinde pozitif etkisi vardır.
- **H3**= Dönüşümsel liderliğin ilham verici motivasyon boyutunun dışsal motivasyon üzerinde pozitif etkisi vardır.
- **H4**= Dönüşümsel liderliğin idealleştirilmiş etki atfedilen boyutunun dışsal motivasyon üzerinde pozitif etkisi vardır.
- **H5**= Dönüşümsel liderliğin bireysel destek boyutunun dışsal motivasyon üzerinde pozitif etkisi vardır.

5. MATERYAL VE METOD

Dönüşümsel liderliğin beyaz yaka çalışanları dışsal motivasyonu üzerindeki etkisinin araştırıldığı bu çalışmada, veri toplama aracı olarak anket yönteminden yararlanılmıştır. Anketin ilk kısmı demografik yapıdan, ikinci kısmı ise 25 soruluk dönüşümsel liderlik ve 8 soruluk dışsal motivasyon sorularından oluşmaktadır. Çalışmaya 212 kişi katılmıştır ve bu yanıtlardan 204'ü analize uygun bulunmuştur.

Araştırmanın geçerliliği ve güvenilirliği, verilerin analizi için IBM SPSS Statistics 27 paket programı kullanılmıştır. Tablo 1’de ankete katılan kişilerin demografik özellikleri yer almaktadır.

Tablo 1. Demografik Özellikler

		Kişi Sayısı	Kişi Yüzdesi
Yaş Aralığı	18-24	11	5,4%
	25-34	109	53,4%
	35-44	36	17,6%
	45-55	31	15,2%
	56+	17	8,3%
	Toplam	204	100%
Cinsiyet	Erkek	92	45,1%
	Kadın	112	54,9%
	Toplam	204	100%
Medeni Durum	Bekar	89	43,6%
	Evli	115	56,4%
	Toplam	204	100%
Eğitim Durumu	Lisans	127	62,3%
	Lise	9	4,4%
	Ön Lisans	9	4,4%
	Yüksek Lisans	59	28,9%
	Toplam	204	100%
Mesleki Deneyim Süresi	1 yıldan az	8	3,9%
	10 yıldan fazla	85	41,7%
	1-3 yıl	22	10,8%
	4-7 yıl	62	30,4%
	8-10 yıl	27	13,2%
	Toplam	204	100%
Algılanan Lider	Bir üst yöneticim	89	43,6%
	Ekip arkadaşım	20	9,8%
	Genel müdürüm	39	19,1%

	İki üst yöneticim	41	20,1%
	Takım liderim	15	7,4%
	Toplam	204	100%

Genel olarak ankete katılanların demografik özellikleri incelendiğinde, ankete katılan kadın ve erkek oranının birbirine yakın olduğu görülmektedir. Katılımcıların çoğunluğunun yaş aralığı 25-34, medeni durumu evli, eğitim durumu lisans, mesleki deneyim süresi 10 yıldan fazla ve algılanan liderinin ise bir üst yöneticisi olduğu görülmektedir.

5.1. Normallik Testi

Çalışmanın analize uygun bulunması için bazı adımlardan başarı ile geçmesi beklenmektedir. Bunlardan biri normallik testidir. 204 kişinin katıldığı anketten alınan veriler SPSS programında normallik analizine tabi tutulmuştur. Verilerin çarpıklık ve basıklıklarına bakıldığında normal dağıldığı ve bu adımdan başarı ile geçtiği görülmüştür. Sonraki adım olan güvenilirlik değerlendirmesi için Cronbach's Alpha değerleri incelenmiştir.

5.2. Güvenilirlik Testi

Soruların birbiri ile ne kadar uyumlu olduğunu ölçen bu test değerinin 0,60 üstünde olması beklenir. 0,80 üstü ise yüksek düzey güvenilir olduğunu göstermektedir. Dönüşümsel Liderlik ve dışsal motivasyon bu sınırı geçmiştir ve güvenilir oldukları görülmektedir (Yucel Karakaya ve Alparslan, 2022).

Tablo 2. Güvenilirlik Testi D. Liderlik

Güvenilirlik Testi Dönüşümsel Liderlik		
Cronbach's Alpha	Cronbach's Alpha Standartlaştırılmış	Madde Sayısı
.956	.957	25

Tablo 3. Güvenilirlik Testi D. Motivasyon

Güvenilirlik Testi Dışsal Motivasyon		
Cronbach's Alpha	Cronbach's Alpha Standartlaştırılmış	Madde Sayısı
.837	.839	8

5.3 Faktör Analizi

SPSS programında yapılan faktör analizi için KMO (Kaiser-Meyer-Olkin Measure) değerlerinin 0,60 üstü olması beklenmektedir. Dönüşümsel liderliğin her bir alt boyutu için yapılan bu analizde çıkan değerler sırasıyla F1= Entelektüel uyum için 0,839, F2=İdealleştirilmiş etki davranış 0,785, F3=İlham verici motivasyon 0,819, F4=İdealleştirilmiş etki atfedilen 0,757 ve F5=Bireysel destek boyutu içinse 0,859 çıkmıştır. F6=Dışsal motivasyonun KMO değeri ise 0,851 çıkarak diğer tüm faktörlerle birlikte bu testi geçmiştir.

5.4 Regresyon Analizi

SPSS programında regresyon analizi yapılırken çoklu regresyon analizi için Stepwise yönteminden yararlanılmıştır. Analiz sonucunda korelasyonlara ve anlamlılık değerlerine baktığımızda dönüşümsel liderlik ile dışsal motivasyon arasında anlamlı bir ilişki olduğu görülmüştür. Özellikle Faktör 5 olan bireysel destek boyutu ile Faktör 3 olan ilham verici motivasyon boyutlarının, dışsal motivasyon üzerinde anlamlı ve pozitif yönde etkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Tablo 4. Model Özeti

Model	R	R Kare	Düzeltilmiş	Tahminin	Değişiklik İstatistikleri

			R Kare	Std. Hatası	R Kare Değişimi	Sig. F Değişim
1	.592 ^a	.351	.348	.80774891	.351	< .001
2	.618 ^b	.382	.376	.79017828	.031	.002

Tablo 4'e baktığımızda R kare değerlerini ve sig. değerlerini görebilmekteyiz. Model 1'de Faktör 5'in(bireysel destek) bağımlı değişkeni %35.1 açıkladığını ve sig değeri (p)0,001<0,05 olduğu için de modelin anlamlı olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. 2. modelde Faktör 3 (ilham verici motivasyon) boyutunda modelin açıklayıcılığını %38.2'ye yükseltmiş olduğu görülmektedir. Faktör 3 ile %3.1'lik varyans artışının da p(0,002)<0,05 anlamlı olduğu sonucuna ulaşılmaktadır.

Tablo 5. Katsayılar

Model	Değişken	Standartlaştırılmış Katsayı (Beta)	t	p-değeri	VIF
1	Faktör 5	0.592	10.447	< .001	1.000
2	Faktör 5	0.341	3.538	< .001	3.028
	Faktör 3	0.306	3.175	0.002	3.028

Katsayılar tablosuna baktığımızda t değerinin yüksek olduğunu ve p-değerlerinin anlamlı ($p < 0.05$) olduğu görülmektedir. Beta katsayıları pozitif olduğu için de araştırma sonucunda dönüşümsel liderliğin ilham verici motivasyon (F3) boyutu ile bireysel destek (F5) boyutunun çalışan dışsal motivasyonunu pozitif yönde artırdığı sonucuna ulaşılmıştır. H3 ve H5 hipotezleri desteklenmiştir.

6. SONUÇ

Çalışanların farklı tarzdaki liderlik anlayışlarından etkilendiği birçok çalışmaya konu olmuştur. Bu liderlik anlayışlarından biri de dönüşümsel liderliktir. Organizasyonlar, motive çalışanlardan maksimum verim alma eğiliminde olmakla birlikte uygun lider ve motive çalışanlarla rekabet ortamlarında fark da yaratabilmektedirler. Bu nedenle dönüşümsel liderlikle dışsal motivasyon kavramlarının birbirleriyle ilişkisi merak konusu olmuştur. Bu iki kavramın önemine ve ilişkilerine dikkat çekmek amacıyla, bu çalışmada dönüşümsel liderliğin çalışanın dışsal motivasyonunu nasıl etkilediği incelenmiş ve anket yöntemiyle elde edilen veriler analiz edilmiştir. Çalışmada, SPSS kullanılarak analiz edilen 204 yanıtı göre dönüşümsel liderliğin ilham verici motivasyon ve bireysel destek boyutunun dışsal motivasyonu anlamlı ve pozitif yönde etkilediği sonucuna ulaşılmıştır. Özellikle bireysel destek boyutunun dışsal motivasyonda oldukça etkili olduğu analizler sonucunda görülmüştür. Kurulan hipotezlerden H3 ve H5 hipotezlerinin desteklendiği sonucuna ulaşılmıştır.

7. TARTIŞMA

Yapılan çalışmanın çıktılarından anlaşıldığı üzere, organizasyonların dışsal motivasyonu yüksek çalışanlarla ilerleyebilmeleri için dönüşümsel liderlik boyutlarından ilham verici motivasyon ve bireysel destek boyutuna ekstra özen göstermeleri gerektiği görülmüştür. Çalışanlarının dışsal motivasyonlarını artırmaları adına organizasyonların bu alanlara yatırım yapması, özellikle liderlerine dönüşümsel liderlik eğitimleri ve seminerleri atamaları, bu kavramların benimsenmesine ve anlaşılmasına katkı sağlayabilir.

KAYNAKLAR

Andika, F. T., Xia, Z. (2019). Impact Of Transformational Leadership And Compensation On Innovation Behavior, With Extrinsic Motivation As Mediator. *Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences*, 87(3), 27-38.

- Argon, T., Ertürk, R. (2013). İlköğretim Okulu Öğretmenlerinin İçsel Motivasyonları ve Örgütsel Kimliğe Yönelik Algıları. *Educational Administration*, 19(2), 159-179.
- Bingöl, B. (2022). *Ortaokullarda Görev Yapan Öğretmenlerin Algılarına Göre Okul Müdürlerinin Dönüşümcü Liderlikleri Ve Örgütsel Çekicilik Arasındaki İlişki* [Yüksek Lisans Tezi]. Dokuz Eylül Üniversitesi.
- Chaman, S., Zulfiqar, S., Shaheen, S., Saleem, S. (2021). Leadership styles and employee knowledge sharing: Exploring the mediating role of introjected motivation. *PLOS ONE*, 16(9), e0257174.
- Graves, L. M., Sarkis, J. (2018). The role of employees' leadership perceptions, values, and motivation in employees' provenvironmental behaviors. *Journal of Cleaner Production*, 196, 576-587.
- Gündüz, Y. (2015). *Etkileşimsel Ve Dönüşümsel Liderlik Tarzlarının İzleyicilerinin Örgütsel Güç Algısı Üzerindeki Etkisini İncelemeye Yönelik Bir Araştırma* [Yüksek Lisans Tezi]. Marmara Üniversitesi.
- Kebe, I. A., Kahl, C., Liu, Y. (2024). Charting Success: The Influence of Leadership Styles on Driving Sustainable Employee Performance in the Sierra Leonean Banking Sector. *Sustainability*, 16(21), 9600.
- Košičiarová, I., Kádeková, Z., & Štarchoň, P. (2021). Leadership and Motivation as Important Aspects of the International Company's Corporate Culture. *Sustainability*, 13(7), 3916.
- Kreye, M. E. (2016). Employee motivation in product-service system providers. *Production Planning & Control*, 27(15), 1249-1259.
- Li, Y., Tan, C.-H., Teo, H.-H. (2012). Leadership characteristics and developers' motivation in open source software development. *Information & Management*, 49(5), 257-267.
- Ponisciakova, O., Rosnerova, Z., Kicova, E. (2023). Motivation as an Element of Managerial Decision Making in Manufacturing Companies: The Case of the Slovak Republic. *Sustainability*, 15(12), 9186.
- Roos, W., Van Eeden, R. (2008). The relationship between employee motivation, job satisfaction and corporate culture. *SA Journal of Industrial Psychology*, 34(1), 54-63.
- Rynes, S. L., Gerhart, B., Minette, K. A. (2004). The importance of pay in employee motivation: Discrepancies between what people say and what they do. *Human Resource Management*, 43(4), 381-394.
- Salem, M., Van Quaquebeke, N., Besiou, M. (2022). Aid worker adaptability in humanitarian operations: Interplay of prosocial motivation and authoritarian leadership. *Production and Operations Management*, 31(11), 3982-4001.
- Sever, N., Atik, S. (2021). Okul Müdürlerinin Liderlik Stilleri İle Okulların Örgütsel Çekicilikleri Arasındaki İlişkinin İncelenmesi. *İnönü Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 22(1), 772-808.
- Smy, V., Shelton, K., Tombs, M., Patrick, J. (2016). Perceived transformational leadership, instructor behaviors, and motivation to learn: A mediated model. *Le Travail Humain*, 79(2), 169-185.

- Trigueros, R., Padilla, A., Aguilar-Parra, J. M., Mercader, I., López-Liria, R., Rocamora, P. (2020). The Influence of Transformational Teacher Leadership on Academic Motivation and Resilience, Burnout and Academic Performance. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(20), 7687.
- Yucel Karakaya, S. P., Alparslan, Z. N. (2022). Sample Size in Reliability Studies: A Practical Guide Based on Cronbach's Alpha. *Psychiatry and Behavioral Sciences*, 12(3), 150-157.

YENİ BOR İÇEREN AZO BOYARMADDE POLİMERLERİNİN TASARIMI, SENTEZİ, KARAKTERİZASYONU VE TERMAL ÖZELLİKLERİ

Assoc. Prof. Dr. Dilek ÇANAKÇI

Adıyaman Üniversitesi / Teknik Bilimler MYO, Bölüm
canakcidilek@adiyaman.edu.tr, ORCID: 0009-0002-4724-569X

Özet

2-Nitro-4-(4,4,5,5-tetrametil-1,3,2-dioksaborolan-2-il) anilin'in diazonyum klorür tuzu çözeltisinin alkali bir çözücü içerisindeki 1,4-Benzenediol ve 1,3-Benzenediol ile birleştirilmesiyle iki yeni azo boyarmadde monomeri hazırlandı. Çalışmanın bir sonraki aşamasında, sentezlenen monomerler başlangıç materyali olarak kullanılarak oksidatif polikondenzasyon yöntemi ile yeni azo boyarmadde polimerleri sentezlendi. Azo boyarmadde monomerleri ve polimerlerinin yapılarını incelemek için Sıvı kromatografisi-kütle spektrometrisi (LC-MS) spektrumu, jel geçirgenlik kromatografisi (GPC), nükleer manyetik rezonans (^1H NMR), fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FT-IR), Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) ve termal analiz (TGA/DTA/DTG) gibi farklı spektral teknikler kullanıldı. Yapısal analizden elde edilen veriler, azo boyarmadde monomerlerinin aynı sıcaklık, süre ve baz konsantrasyonunda farklı yapılara sahip polimerler oluşturduğunu göstermektedir. Termogamlar bileşiklerin farklı ayrışma süreçlerinden geçtiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Azo boyarmadde, Polimer, TGA

DESIGN, SYNTHESIS, CHARACTERIZATION AND THERMAL PROPERTIES OF NEW BORON-CONTAINING AZO DYE POLYMERS

Abstract

Two new azo dye monomers were prepared by coupled the diazonium chloride salt solution of 2-nitro-4-(4,4,5,5-tetramethyl-1,3,2-dioxaborolan-2-yl)aniline with 1,4-Benzenediol and 1,3-Benzenediol in an alkaline solvent. In the next stage of the study, new azo dye polymers were synthesized by oxidative polycondensation method, using the synthesized monomers as starting material. Different spectral techniques such as Liquid chromatography-mass spectrometry (LC-MS) spectrum, gel permeation chromatography (GPC), nuclear magnetic resonance (^1H NMR), fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR), scanning Electron Microscopy (SEM) and thermal analysis (TGA/DTA/DTG) were used to study the structures of azo dye monomers and polymers. Data obtained from structural analysis show that azo dye monomers form polymers with different structures at the same temperature, time and base concentration. The thermograms show that the compounds undergo different decomposition processes.

Keywords: Azo dye, Polymer, TGA

1. INTRODUCTION

Azo dyes are one of the most important chromophore classes used in many different industrial areas. Substances defined as azo dyes are synthetic dyes that contain an azo group ($\text{N}=\text{N}-$) in their structures (Ganjoo et al., 2023). The “Azo” group is not found in any natural dyes. All dyes in this group are obtained synthetically. There are at least three thousand azo dye types that are the most widely used in trade and structurally fall into various organic dye classes. Today, various azo dyes with different chemical and physical properties can be synthesized using different starting materials (Abdulrazzaq et al., 2023).

Different routes and modifications are made in order for the azo dye to have the desired color properties (Gürses et al., 2016). Azo dyes are the most commonly used dyes in the industry and constitute more than 60% of the total dyes (Shah et al., 2014, Lipskikh et al., 2018, Berradi et al., 2019, Chung et al., 1998). Azo dyes, which are used as colorants in more than half of the commercial dyes, have also been used in many applications such as photography, thermal transfer printing, inkjet printing, light-controlled polymers, biomedical field, molecular recognition and liquid crystal industry (Hinks et al., 2000, Im et al., 2018, Brüscheweiler et al., 2017, Belowar et al., 2024).

An azo dye can have more than one azo group in its structure. It can have different colors depending on the number of azo groups in its structure. Polyazo dyes are complex dyes characterized by the repetition of the azo group three or more times in the same molecule. Such dyes are mostly in dark red, brown and black tones. Polyazo dyes have been synthesized for leather dyeing in dark tones (Ashmawy et al., 2022, Selivanova et al., 2022). The aim of this study is to synthesize two new azo monomers and two new azo polymers containing boron in their structures. Different analyses were performed to elucidate the structures of all the synthesized compounds and especially their thermal stabilities were examined. The thermal data obtained revealed the differences in the resistance of both monomers and polymers to heat.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Chemicals and reagent

All the chemicals and reagents (2-Nitro-4-(4,4,5,5-tetramethyl-1,3,2-dioxaborolan-2-yl)aniline, 1,4-Benzenediol, 1,3-Benzenediol, Sodium nitrate, Hydrochloric acid, Sodium hydroxide, Potassium hydroxide, Hydrogen peroxide) were of reagent-grade quality and were purchased from Merck and used without further purification.

2.2. Physical measurements

Different spectroscopic methods were used for the structural analysis of the synthesized azo monomers and polymers. For the identification of the synthesized azo monomers, the samples were analyzed by LC/MS (TSQ Quantis). FT-IR spectra of compounds were recorded on Perkin-Elmer Spectrum 100 Infrared Spectrometers using KBr pellets. ¹H NMR studies were performed by Varian 400 FT-NMR. The surface characteristics, size and shape of azo compounds were observed using SEM (ZEISS EVO LS 10). Thermogravimetric analyses (TGA) were recorded using a Perkin Elmer Pyris 1 thermal analyzer under nitrogen gas.

2.3. General procedure for the preparation of azo dye monomers

Azo dye monomers were synthesized in two stages. The first stage is the production of diazonium salt. 2 mL HCl and 20 mL distilled water were added to 2-Nitro-4-(4,4,5,5-tetramethyl-1,3,2-dioxaborolan-2-yl)aniline (14 mmol) in a beaker. The mixture was stirred in an ice bath and its temperature was allowed to drop below 5 °C. Then the solution of 1 g (14 mmol) of sodium nitrate in 8 mL of distilled water was added slowly. The final mixture was stirred until the diazonium salt was formed. The second stage is the production of azo dye. The diazonium salt solution was added to the solution of 1,4-Benzenediol (14 mmol) in 5 M sodium hydroxide and stirred for about 1 hour. It was ensured that the temperature of the environment did not exceed 5 °C during the mixing process. At the end of the period, the azo dye monomer formed was filtered and separated from the solution. It was washed with pure water several times and dried in an oven. The yield of Mb1 obtained was 80%. Similar synthesis conditions were applied in 1,3-Benzenediol to obtain Mb2. The yield of Mb2 was 85% (Fig.1).

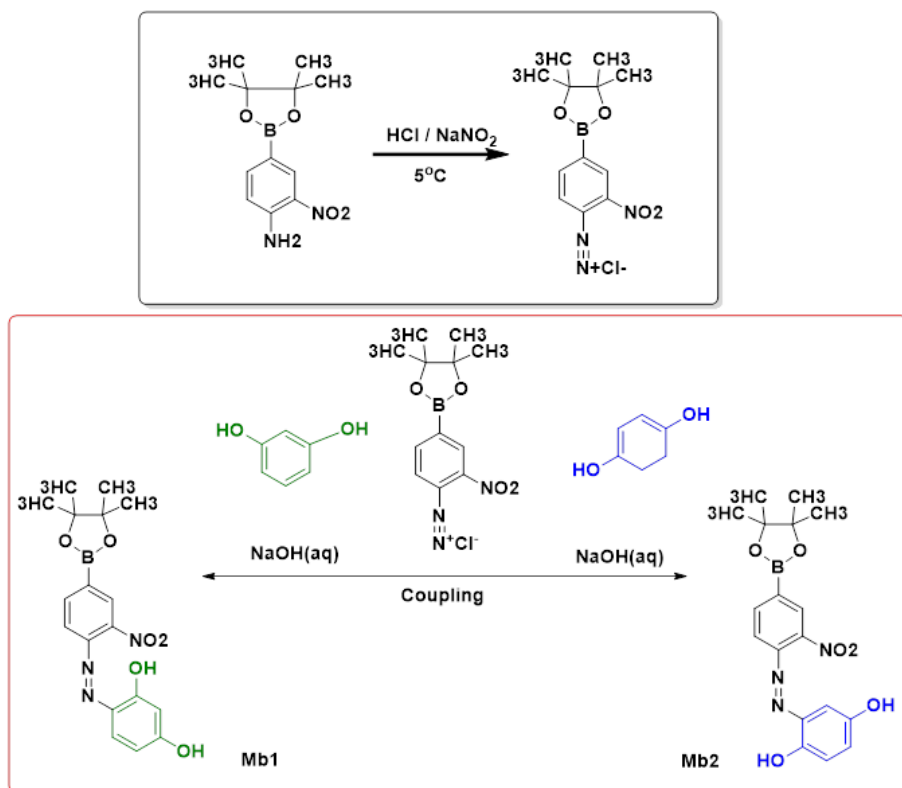


Figure 1. Synthesis of azo dye monomers.

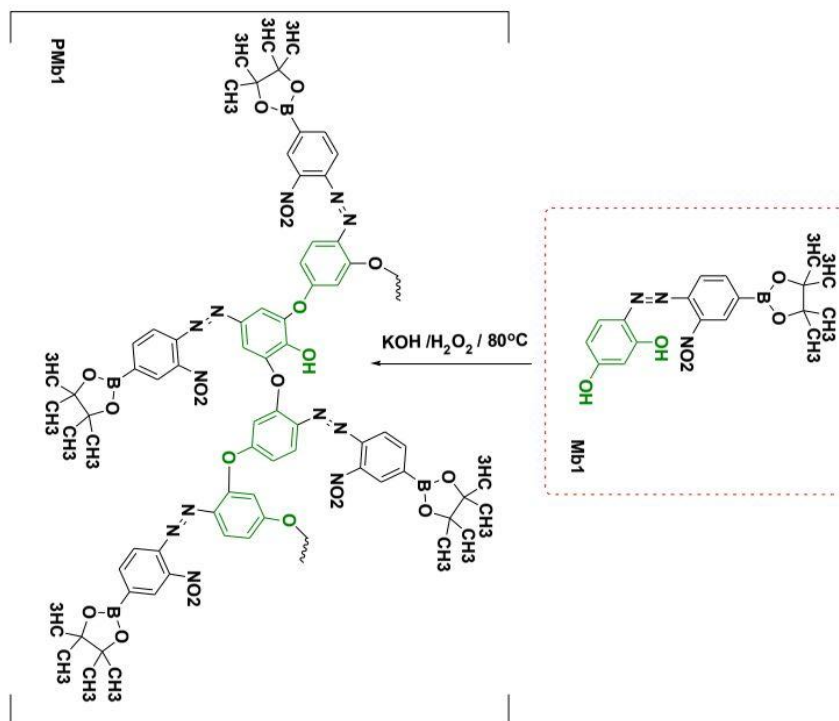


Figure 2. Synthesis of PMb1.**2.4. General procedure for the preparation of azo dye polymers**

PMb1 and PMb2 were synthesized using the same reaction conditions and method. After Mb1 and Mb2 were taken into a flask, KOH solution was added to the monomers to form a basic solution for oxidative polycondensation. The basic solution was stirred at 70 °C. for 30 minutes and then H₂O₂ (0.4 mL) was added dropwise. The temperature of the solution was increased to 80 °C. and stirred at this temperature for 7 hours. HCl (0.5 mL) was added to the reaction medium to stop the polymerization. After the acid addition, the precipitated polymers were filtered and separated from the liquid phase. It was washed several times with pure water and then ethanol to remove impurities. The polymers were dried in an oven to completely remove the liquid phases. The polymers obtained are black in color. The yields of PMb1 and PMb2 are 63% and 67%, respectively (Fig.2).

4. RESULTS AND DISCUSSION**4.1. Mass and GPC analysis**

LC-MS analysis was performed to determine the molecular weights of Mb1 and Mb2 azo monomers. The results obtained in positive ion mode showed that the molecular ion values (*m/z*) of the monomers were 383. The GPC chromatograms of PMb1 and PMb2 polymers were obtained to determine the mass average molecular weight (*M_n*), mass average molecular weight (*M_w*) and polydispersity index (PDI) values. The values obtained from the GPC chromatogram of PMb1 and PMb2 were *M_n*: 4.015 and 4.865 g mol⁻¹, *M_w*: 4235 and 5005 g mol⁻¹, PDI: 1.05 and 1.02, respectively.

4.2. FT-IR analysis

The structural characteristics of the azo dye monomers and polymers were analyzed by FT-IR as shown in Figure 3 and 4. The results include basic stretching vibration peaks proving that monomers carry out the azo coupling reaction and polymers carry out the oxidative polycondensation reaction. The broad peaks at 3473 and 3184 cm⁻¹ in the spectrum of Mb1 may be attributed to the stretching vibration of OH of phenol (Fig.3). The peaks at 2938 and 2837 cm⁻¹ were formed due to aromatic and aliphatic C-H stretching vibration, respectively. The intense peak observed at 1604 and the weak peak observed at 1487 cm⁻¹ are due to the aromatic C=C and N=N stretching vibrations, respectively. The intense stretching vibration peaks at 1347 and 1265 cm⁻¹ could be assigned to N-O and B-O stretching vibration, respectively, whereas the peaks in the range of 1015-754 cm⁻¹ are assigned to substituted benzene. In the spectrum of Mb2, OH stretching vibration peaks are observed at 3726 and 3476 cm⁻¹ (Fig.4).

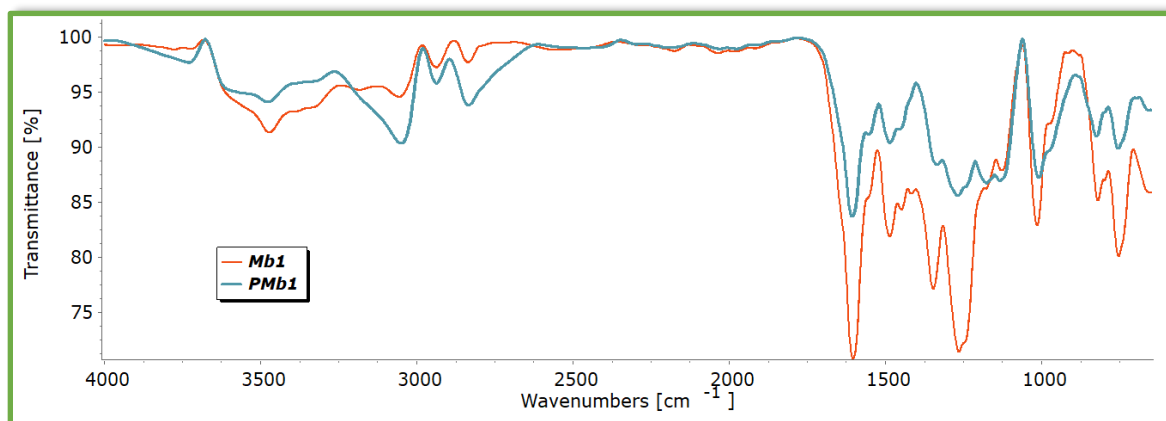
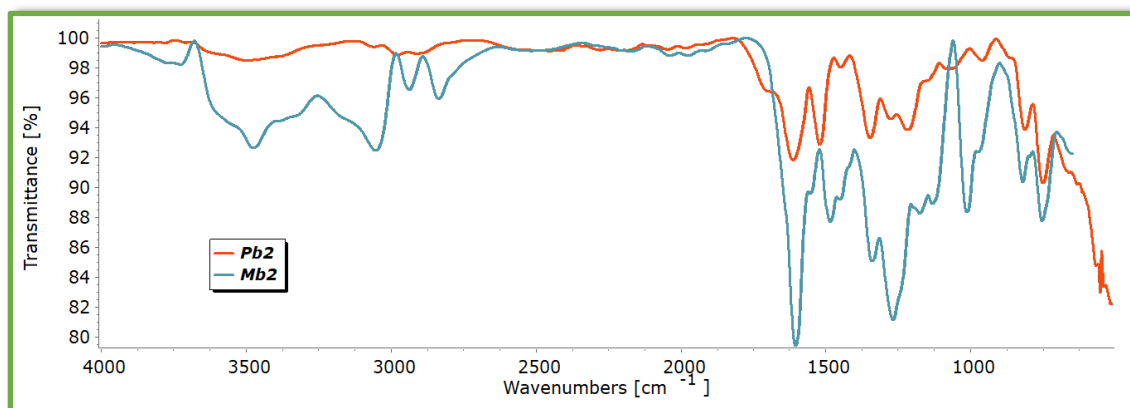


Figure 3. FTIR spectrum of Mb1 and PMb1.

Aromatic and aliphatic C-H stretching vibration peaks are occurred at $3053\text{--}2937\text{ cm}^{-1}$ and 2835 cm^{-1} , respectively. The sharp peak at 1605 cm^{-1} is formed as a result of the aromatic C=C stretching vibration of phenols. Also, the medium peak at 1485 cm^{-1} next to this peak shows the N=N stretching vibration. The peaks formed around 1219 cm^{-1} show the N-O symmetric stretching of NO_2 and the B-O stretching vibration of groups attached to the benzene ring. The medium peaks in the spectrum of Mb2 in the range of $1013\text{--}754\text{ cm}^{-1}$ are formed as a result of aromatic ring vibrations. The most important feature that distinguishes polymers from other molecules is that they are formed as a result of the same chemical structures bonding together to form a chain. There are peaks in the spectra of PMb1 and PMb2 that prove polymer formation (Fig.4). Peaks were formed in the same region due to similar vibrations of more than one group. The peaks overlapped with each other and formed broad peaks. Also, the number of peaks decreased due to peak overlap. The stretching vibration peaks of OH groups that did not participate in polymer formation were formed at $3729\text{--}3478\text{ cm}^{-1}$ for PMb1 and 3497 cm^{-1} for PMb2. In the spectrum of PMb1, aromatic and aliphatic C-H stretching vibration peaks were occurred at $3050\text{--}2936\text{ cm}^{-1}$ and 2834 cm^{-1} , respectively. In addition, the peaks occurring at 1606 and 1485 cm^{-1} indicate C=C and N=N stretching vibrations. The N-O and B-O stretching vibration peaks are seen at 1219 cm^{-1} . In the spectrum, aromatic ring vibrations were occurred in the range of $1008\text{--}655\text{ cm}^{-1}$. The peaks seen at 2977 and 2908 cm^{-1} in the spectrum of PMb2 indicate aromatic and aliphatic C-H stretching vibrations. In addition, the aromatic C=C stretching vibration peak is seen at 1613 cm^{-1} . N=N, N-O and B-O stretching vibration peaks were occurred at 1522 , 1348 and 1219 cm^{-1} , respectively. The peaks formed in the range of $1078\text{--}752\text{ cm}^{-1}$ were formed as a result of aromatic ring vibrations.

**Figure 4.** FTIR spectrum of Mb2 and PMb2.

4.3. ^1H NMR Analysis

^1H NMR spectral data in deturated DMSO solution of the synthesized azo dye monomers ve polymers are given in Figure 5. The NMR spectrum of Mb1 in DMSO shows signals at 10.26 and 9.35 ppm attributed to OH protons. Weak signals in the range of 8.07-6.49 ppm were assigned to aromatic protons of both rings. In the spectrum, protons of CH_3 groups formed peaks with different intensities in the range of 1.33-0.82 ppm. Mb2 and Mb1 formed peaks in similar regions in the spectra. The OH group proton peaks attached to the benzene ring formed at 10.31 and 9.98 ppm. Aromatic ring and CH_3 proton peaks formed in the range of 8.36-6.40 ppm and 1.20-0.82 ppm, respectively. There are peaks in the predicted regions in the spectra of PMa1 and PMa2. In both spectra, there were overlaps in the peaks due to the increasing number of groups after polymerization. Therefore, especially aromatic ring proton peaks formed a peak appearance. In the spectrum of PMb1, aromatic ring proton peaks formed in the range of 8.09-7.03 ppm, while CH_3 proton

peaks formed in the range of 1.88-0.78 ppm. According to the spectrum, polymer formation mostly occurred via the OH group. There are only a few very weak peaks around 9.50 ppm. Similar peak formations are also seen in the spectrum of PMb2. OH proton peaks occurred in the range of 11.9-9.25 ppm. Aromatic ring proton peaks in the hill view are in the range of 7.92-7.03 ppm. Peaks in the range of 1.22-0.75 ppm prove the presence of CH₃ protons.

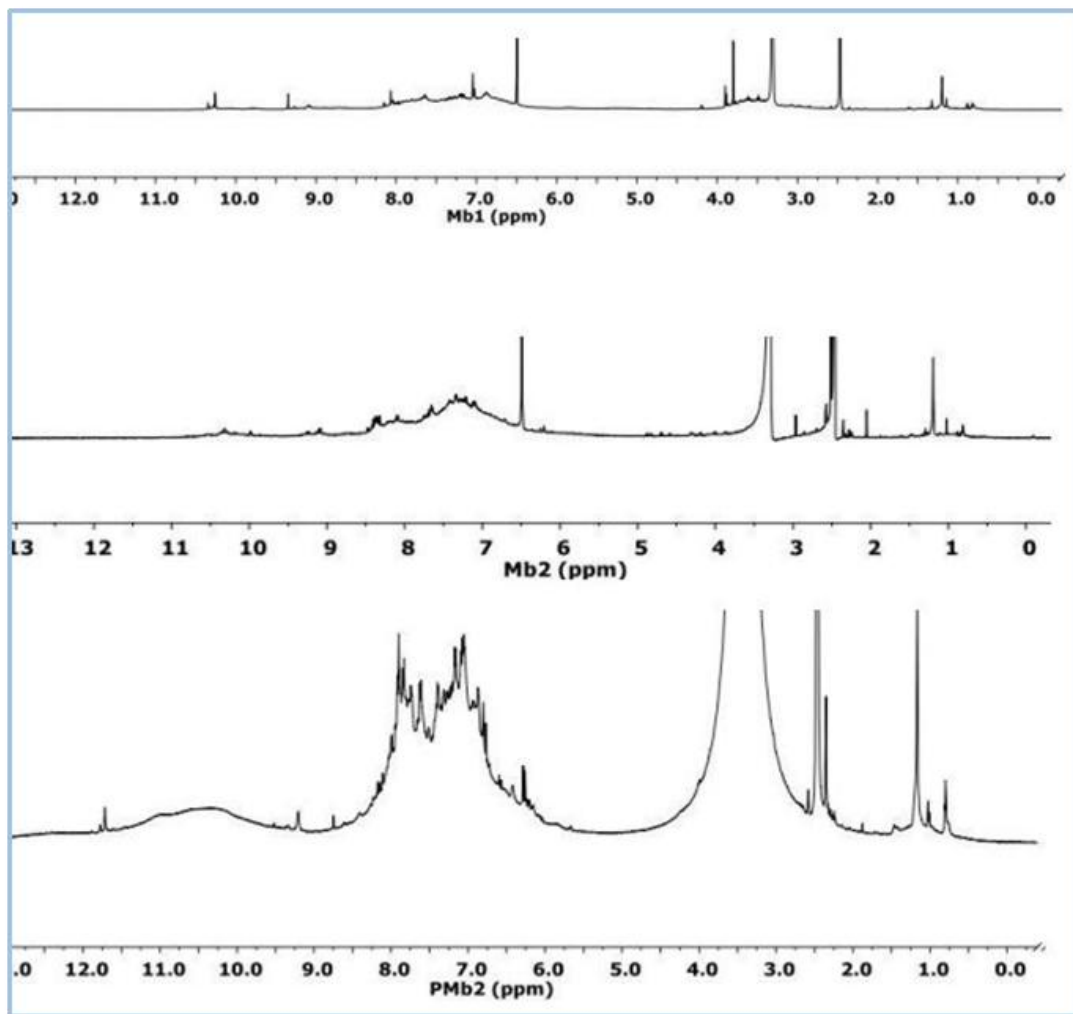


Figure 5. ¹H-NMR spectrum of Mb1, Mb2 and PMb2.

4.4 SEM Analysis

SEM analysis is one of the widely used analysis methods to study the structural and topographic properties of compounds. SEM images of synthesized monomers and polymers at different magnifications are given in Figure 6. The SEM images show that both Mb1 and Mb2 form crystal structures. Especially, the crystal structures formed by Mb1 are quite different from Mb2. It can be clearly seen from the SEM images that the crystals of Mb1 have particle sizes ranging from a few nanometers to several hundred and these particles have different characteristic shapes. The appearances of the particles in the crystal structure of Mb2 are similar to each other. Also Mb2 formed a more were layered and porous structure. After polymerization, the crystal structure was completely changed and amorphous polymers were formed. The morphologies of PMb1 and PMb2 are quite different from each other. PMb1 has formed a layered and porous structure as a

result of the coming together of particles of different sizes. The structure of PMb2 is less layered and less porous. Additionally, there are small particles of different sizes and numbers on the surface of PMb2.

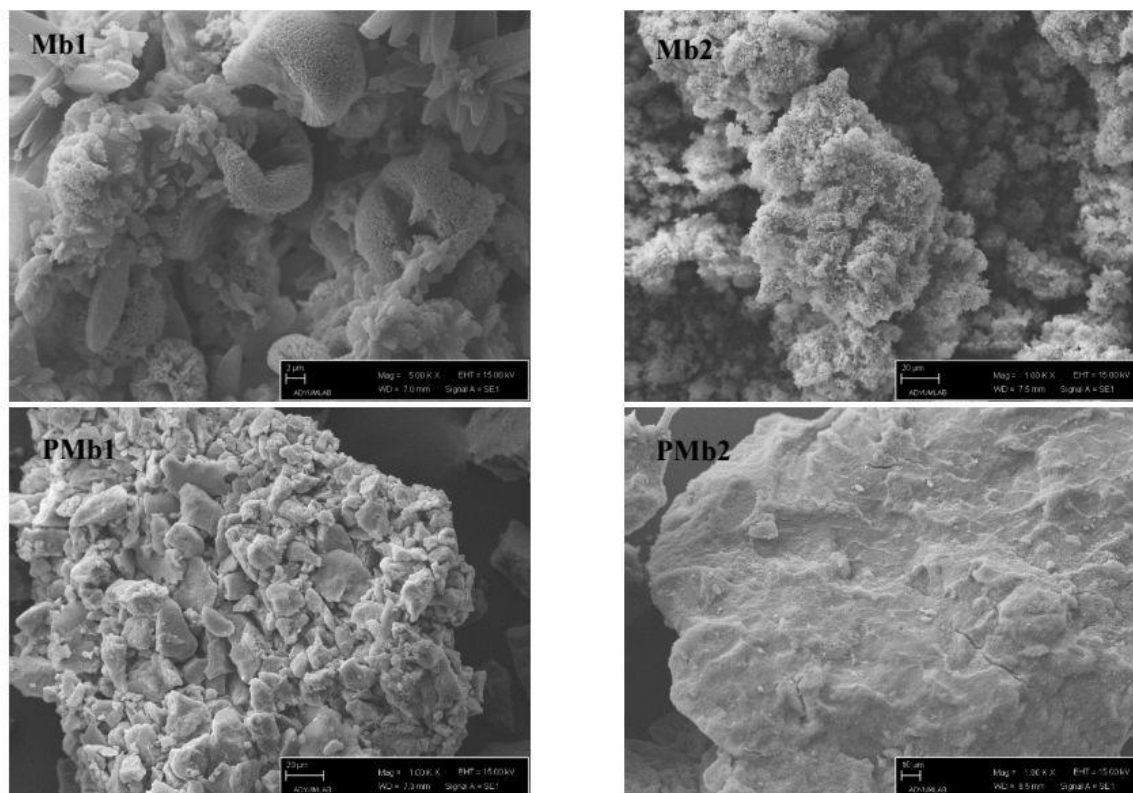


Figure 6. SEM images of monomers and polymers.

4.5. Thermogravimetry analysis

The thermal degradation data of boron-containing new dye monomers and polymers (TGA/DTG/DTA) are summarized in Tables 1 and 2. The TGA curves of the synthesized compounds are shown in Figure 7. Thermal degradation of Mb1 and Mb2 monomers occurred in two steps. The starting and ending temperature values of the first degradation step of both monomers are close to each other. The maximum temperature (T_m) of the DTG curve of Mb1 is 222 °C, and the maximum temperature of Mb2 is 219 °C. The mass ratios of the monomers separated from their structures in the first steps are 10.90% and 9.58% for Mb1 and Mb2, respectively. The obtained data prove that the monomers exhibit similar degradation behaviors in their first steps. In addition, it is seen that the temperatures corresponding to 25% weight loss of the monomers are quite high (Mb1: 541 °C, Mb2: 548 °C). This result shows that both monomers have high resistance to heat. It is seen that the second thermal decomposition steps in the DTG curves of the monomers do not form a strong peak as in the first thermal decomposition step. The reason for this is that the activation energies of the thermal decompositions of the monomers in the second steps are different. PMb1 and PMb2 polymers formed very different thermograms from their monomers. While PMb1 performed its thermal decomposition in a single step, PMb2 performed its thermal decomposition in two stages. The initial decomposition temperatures (T_i) of the polymers are at temperature values close to each other as in their monomers (PMb1: 165 °C, PMb2: 159 °C). The T_{max} values of the first endothermic peaks in the DTG curves of the polymers are 338, 321 °C for PMb1 and PMb2, respectively. The T_m values of the polymers are quite higher than the values of the monomers. The temperatures corresponding to 50% weight loss of

the polymers are different from each other. These values for PMb1 and PMb2 are 651 °C and 825 °C, respectively. In addition, the remaining amount of material at the temperature where thermal decomposition is terminated is 32.15% for PMb1 and 43.32% for PMb2. These results prove that the thermal stability of PMb2 is greater than that of PMb1.

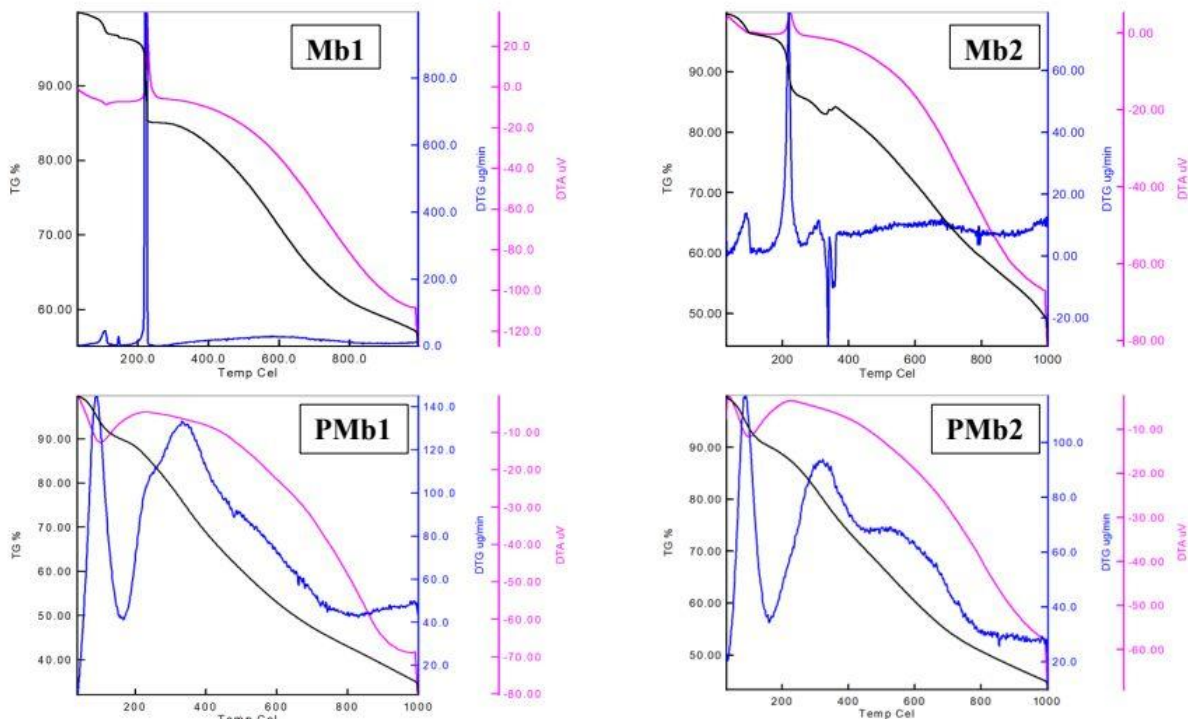


Figure 7. TGA/DTA/DTG curves of monomers and polymers.

Table 1. Thermal data obtained of Mb1, Mb2, PMb1 and PMb2 by TGA.

Compound	β	T_i	T_{25}	T_{50}	T_{75}	T_f	Residue%
Mb1	15	187	541	-	-	1000	55.07
Mb2	15	173	548	984	-	1000	44.68
PMb1	15	165	342	651	-	1000	32.15
PMb2	15	159	384	825	-	1000	43.32

ⁱInitial decomposition temperature, $T_{25, 50, 75}$: Temperature for 25, 50, 75% weight loss, ^fEnd of decomposition

Table 2. Interpretation of TG curves recorded (Azo dye monomers and polymers).

Compound	β	1 st			2 nd		
		T_a	T_b	% _c	T_a	T_b	% _c
Mb1	15	187-232	222	10.90	240-1000	580	29.99
Mb2	15	173-253	219	9.582	366-1000	610	39.46
PMb1	15	165-836	338	48.31	-	-	-
PMb2	15	159-455	321	20.16	459-881	585	21.44

^aMass loss temperature ranges, ^bMaximum temperature on the DTA curve, ^cPercentage of lost mass of the sample in the temperature range

4.CONCLUSIONS

In conclusion, I described the synthesis and some spectroscopic properties of the two new azo dye monomers and two azo dye polymers bearing 2-Nitro-4-(4,4,5,5-tetramethyl-1,3,2-dioxaborolan-2-yl)aniline, 1,4-Benzenediol and 1,3-benzenediol. The obtained data clearly revealed the structural changes that occur as a result of the polymerization of the monomers. In addition, significant changes have occurred in the absorption and thermal properties. The thermograms show that the compounds undergo different decomposition processes. The resistance to heat is different both among monomers and among polymers. These results are evidence that the smallest geometric change in the main structures of compounds directly affects all their properties.

REFERENCES

- Abdulrazzaq, A.G., Al-Hamdani, A.A.S. (2023), Some Metal Ions Complexes With Azo [4-((8-hydroxyquinolin-7-yl)-N(4-methylisoxazol-3-yl)benzenesulfonamide] Synthesis, Characterization, Thermal Study and Antioxidant Activity, *J. Med. Chem. Sci.*, 6(2), 236-249.
- Ashmawy A., Alahl A., Aali A., Mahmoud A., Rizk S. (2022), Novel azo dye based on 1,3,4-thiadiazole: synthesis, characterization linked to application as dye-sensitized solar cells and antioxidant, *Egypt J Chem.* 66(8), 531-42.
- Brüschweiler, B. J., Merlot, C. (2017), Azo dyes in clothing textiles can be cleaved into a series of mutagenic aromatic amines which are not regulated yet, *Regul. Toxicol. Pharmacol.* (88), 214-226.
- Belowar S., Rahamatolla M. Islam S.S., Jalil M.A., Hossain S., Saeed M.A., Bhuiyan M.M.R., Kazi F., Shekh S. (2024), Design, synthesis, and characterization of a novel pH-responsive azo dye incorporating a 1,3,4-thiadiazole ring for advanced textile applications, *Dyes and Pigments* (231), 112410.
- Berradi M., Hsissou R., Khudhair M., Assouag M., Cherkaoui O., El Bachiri A., El Harfi A. (2019), Textile finishing dyes and their impact on aquatic environs, *Heliyon.* (5), e02711
- Chung, K. T., Chen, S. C., Wong, T. Y. & Wei, C. I. (1998), Effects of benzidine and benzidine analogues on growth of bacteria including azotobacter vinelandii, *Environ. Toxicol. Chem.* (17), 271-275.
- Ganjoo, R., Verma, C., Kumar, A., Quraishi, M.A. (2023), Colloidal and interface aqueous chemistry of dyes: Past, present and future scenarios in corrosion mitigation, *Advances in Colloid and Interface Science*, 311, 102832.
- Gürses A., Açıkyıldız M., Güneş K., Gürses M.S. (2016) Classification of dye and pigments, *Dyes and Pigments*, Springer, pp.31-45.
- Hinks, D., Freeman, H. S., Nakpathom, M. & Sokolowska, J. (2000), Synthesis and evaluation of organic pigments and intermediates. 1.Nonmutagenic benzidine analogs, *Dyes and Pigments* (44), 199-207.
- Lipskikh O.I., Korotkova E.I., Khristunova Ye.P., Barek J., Kratochvil B. (2018), Sensors for voltammetric determination of food azo dyes - a critical review, *Electrochim. Acta.* (260), 974-985.
- Selivanova G, Skolyapova A, Wang J, Karpova E, Shundrina I, Bagryanskaya I. (2022), Azo dyes containing 1,3,4-thiadiazole fragment: synthesis and properties, *New J Chem.* 46(4), 1929-42.
- Shah M. (2014), Effective treatment systems for azo dye degradation: a joint venture between physico-chemical & microbiological process, *J. Environ. Biorem. Biodegrad.* (2), 231-242.
- Im, H., Kim, J., Sim, C., Kim, T. H.(2018), Crystal structure of N, N'-dibenzyl-3, 3'-dimethoxybenzidine, *Acta Crystallogr. E: Crystallogr. Commun.* (74), 271-274.

FARKLI UZUNLUKTAĞI BAZALT ELYAF KULLANIMININ BETON DAYANIMINA ETKİSİ

Öğr.Gör.Dr. Mutlu KURBAN

Çukurova Üniversitesi, AOSB Teknik Bilimler MYO, Tekstil Teknolojisi
mkurban@cu.edu.tr, ORCID: 0000-0001-9132-0349

Özet

Beton dayanımı yüksek ancak esnekliğı olmayan bir yapı malzemesidir. Bu yüzden çeşitli malzemelerle takviyelendirilerek kullanılır. Tekstil bileşenleri de bu takviyelerden biri olup çeşitli formdaki tekstil bileşenleri beton takviyesinde son dönemlerde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Tekstil elyafı bu formlardan biri olup beton yapılarda çatlak oluşumunu engelleme veya geciktirme yönünde katkıları bulunmaktadır. Beton takviyesinde elyaf olarak alkali dayanımlı cam, bazalt ve karbon gibi yüksek mukavemetli elyaflar veya daha düşük mukavemete sahip olan polipropilen veya poliamid gibi polimerik tekstil bileşenleri farklı oranlarda kullanılabilir. Bu çalışmada 5 ve 10 mm uzunluğunda bazalt elyafı 4 farklı hacim oranında (%0,1-0,2-0,3-0,4) beton içerisinde kullanılmıştır. Karşılaştırma yapmak amacıyla takviyesiz beton karışımı da hazırlanmıştır. Hazırlana karışımlardan basın dayanımının belirlenebilmesi için 100x100x100 mm ebatlarında küp, eğilme dayanımının belirlenebilmesi için 400x100x20 mm ebatlarında kiriş numuneler üretilmiş ve test edilmiştir. Testler sonucunda her iki elyaf uzunluğunda da en iyi basınç ve eğilme dayanımını hacimce %0,2 elyaf kullanılan numuneler vermiştir. Hacimce %0,2 oranında 5 mm elyaf kullanılan numuneler takviyesiz numunelere göre basınç dayanımında %17,3, eğilme dayanımında %21,1 artış sağlamıştır. Hacimce %0,2 oranında 10 mm elyaf kullanılan numuneler takviyesiz numunelere göre hem basınç hem de eğilme dayanımında %16,7 artış sağlamıştır.

Anahtar Kelimeler: Tekstil Takviyeli Beton, bazalt elyaf, basınç dayanımı, eğilme dayanımı

EFFECT OF USE OF DIFFERENT LENGTHS OF BASALT FIBER ON CONCRETE STRENGTH

Abstract

Concrete is a building material with high strength but no flexibility. Therefore, it is used by reinforcing it with various materials. Textile components are one of these reinforcements and textile components in various forms have been widely used in concrete reinforcement in recent years. Textile fiber is one of these forms and contributes to preventing or delaying crack formation in concrete structures. High strength fibers such as alkali-resistant glass, basalt and carbon or polymeric textile components with lower strength such as polypropylene or polyamide can be used in concrete reinforcement at different rates. In this study, 5 and 10 mm long basalt fibers were used in concrete at 4 different volume ratios (0.1-0.2-0.3-0.4%). A concrete mixture without reinforcement was also prepared for comparison. Cube samples of 100x100x100 mm were produced and tested to determine the compressive strength from the prepared mixtures and beam samples of 400x100x20 mm were produced and tested to determine the flexural strength. As a result of the tests, the best compressive and flexural strength was given to the samples containing 0.2% fiber by volume in both fiber lengths. The samples containing 5 mm fiber by volume provided a 17.3% increase in compressive strength and a 21.1% increase in flexural strength compared to the unreinforced samples. The samples containing 10 mm fiber by volume provided a 16.7% increase in both compressive and flexural strength compared to the unreinforced samples.

Keywords: Textile Reinforced Concrete, basalt fiber, compressive strength, flexural strength

1. GİRİŞ

Çimento, agrega, kimyasal/mineral katkıları ve sudan oluşan beton birçok avantajı nedeniyle yapıların oluşturulmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Beton dayanımı yüksek ancak esnekliğı olmayan bir yapıya sahiptir (Ünal ve Şen, 2008; Sarı, 2013). Esnek olmaması nedeniyle gevrek bir yapıya sahip olan

betonun esnekliğini artırmak adına çeşitli yöntemler kullanılmakta olup takviye bileşeninin kullanımı en fazla tercih edilen yöntemdir (Kızılkıran ve ark., 2014).

Takviye bileşeni olarak tekstil bileşenleri kesikli lif formunda veya kesiksiz filament olarak beton takviyesinde kullanılabilir. Kesikli formda teorik olarak tüm tekstil lifleri takviye bileşeni olarak kullanılabilir ancak pratikte cam, bazalt, karbon, polipropilen, poliamid ve çelik lifleri daha çok tercih edilmektedir. Filament formda ise alkali dayanımlı cam filament, bazalt filament ve karbon filament gibi malzemeler genellikle çekme ve eğilme dayanımını artırmak için kullanılmaktadır (Brameshuber, 2006; Kurban, 2021).

Lif takviyesi, betonun zayıf çekme dayanımını ve büzülme çatlaklarını iyileştirmesi nedeniyle son yıllarda inşaat mühendisliğinde büyük ilgi görmüştür (Zhao ve ark., 2023). Anas ve ark., (2022)'deki çalışmada liflerin eklenmesinin betonun çekme dayanımı, eğilme dayanımı ve süneklik performansı gibi mekanik özelliklerini geliştirdiğini ortaya koymuştur. Ayrıca, liflerin eklenmesi betonun büzülmesini ve deformasyonunu azaltmıştır.

Jalasutram ve ark. (2017) 'deki çalışmalarında 12 mm uzunluğunda bazalt elyafı kullanarak küp ve kiriş numuneler üretmişlerdir. Bazalt elyafı eklendiğinde basınç dayanımında belirgin bir değişim gözlenmemişken %2'lik elyaf kullanılması durumunda çekme dayanımında %14'lük artış görülmüştür. Betona hacimsel olarak %0,5-2 oranında bazalt liflerin eklenmesi, eğilme dayanımını %15-75 oranında artırmıştır. Tek eksenli eğilme altında eğilme tokluğu, lif içeriğindeki artışla birlikte %60'a kadar iyileşmiştir. Bazalt takviyeli beton numuneler için yuvarlak panel testlerinde eğilme tokluğunda dikkate değer bir iyileşme fark edilmiştir. Beton numunesinin deforme edilebilirliği, betona %2 bazalt lifler eklendiğinde yaklaşık %220 oranında iyileşmiştir.

Zhou ve ark. (2020) çalışmalarında betona belirli oranlarda 12 mm uzunluğunda bazalt lifi karıştırarak numuneler üretmişlerdir. Lif takviyesinin çatlamayı önlediği ve kırılma davranışları engelleyerek betonun tokluğunu artırdığı görülmüştür. Çalışmada farklı bazalt lif içeriklerine sahip betonun basınç, çekme ve eğilme testleri gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, bazalt lifin betonun tokluğunu ve çatlama direnci performansını önemli ölçüde iyileştirdiğini göstermiştir. Bazalt lifin betonun basınç dayanımı üzerindeki artırıcı etkisi, çekme dayanımı ve eğilme dayanımından daha düşüktür. Ayrıca bazalt elyaf içeriği sırasıyla %0,3 ve %0,4 olduğunda iyileştirme etkisi en yüksek olduğu görülmüştür.

Çalışmada hacimce farklı yüzdelerde 5 ve 10 mm uzunluğunda bazalt elyaf kullanılarak beton karışımları hazırlanmış ve bunlardan numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelerden beton karışımın basınç ve eğilme dayanımları incelenmiştir.

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Materyal

Çalışma kapsamında üretilen beton numuneler kompozit yapılar olup takviye ve matris bileşenlerinden oluşmaktadır. Takviye bileşeni olarak teknik özellikleri Tablo 1'de verilmiş olan 5-10 mm uzunluğunda bazalt elyafı (Şekil 1) kullanılırken matris bileşeni olarak beton kullanılmıştır.

Tablo 1. Bazalt elyaf teknik özellikleri

Liner yoğunluk	Yoğunluk	Kimyasal dayanım	Elastisite modülü	Çekme dayanımı
2400 tex	2,75 g/cm ³	Çok yüksek	89 GPa	2800 MPa



Şekil 1. Çalışmada kullanılan bazalt elyaf a) 5 mm, b) 10 mm

Beton karışımı reçetesi Polisan Yapıkim'in Adana Hacı Sabancı OSB tesislerinde bulunan Ar-Ge laboratuvarı çalışanlarından destek alınarak belirlenmiştir. Beton karışımı için çimento, agrega, uçucu kül, yüksek akışkanlaştırıcı ve su kullanılmıştır. Denemeler sonucunda elde edilen beton karışımı reçetesi Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Beton karışımı reçetesi

Beton bileşeni	Türü	Temin yeri	Miktarı (kg/m ³)
Agrega	0-500 μ	Gaziantep Ytong A.Ş	1133
Çimento	CEM II/A-S 42.5 R	Oyak Çimento	480
Uçucu kül		İSKEN	240
Yüksek akışkanlaştırıcı	Ultraton	Polisan Kimya San. A.Ş.	12,96
Su		Şebeke suyu	270
		TOPLAM	2135,96

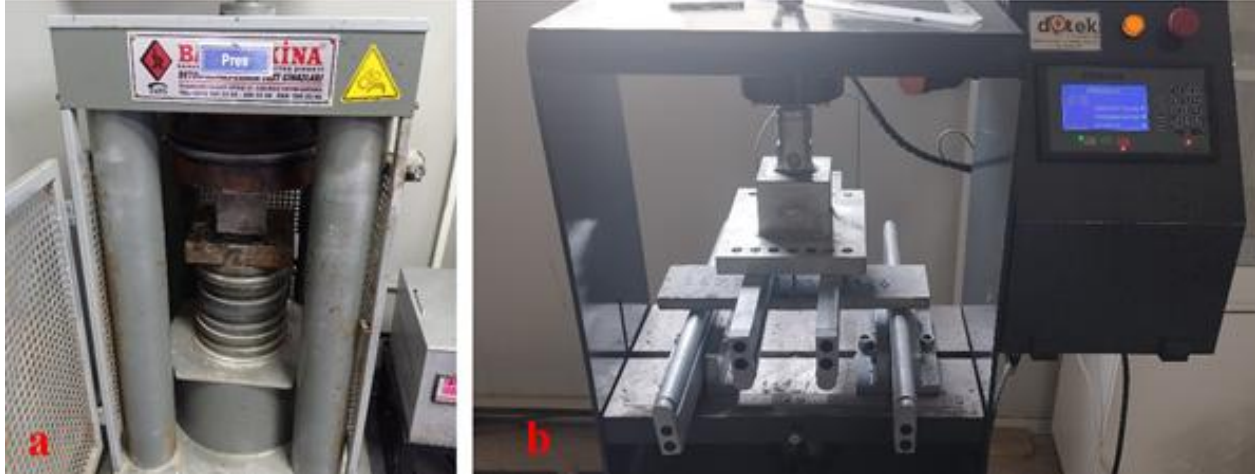
2.2. Metot

Çalışmada elyaf uzunluğunun beton dayanımı üzerindeki etkisini incelemek amacıyla 5 ve 10 mm uzunluğundaki bazalt elyaftan hacimce % 0,1-0,2-0,3-0,4 oranında kullanılarak beton karışımları hazırlanmıştır. Karşılaştırma yapmak amacıyla da elyaf takviyesi olmayan karışım ile birlikte toplam 9 beton karışımı hazırlanmıştır. Beton karışımı hazırlanırken öncelikle reçetede bulunan katı malzemeler tartılıp mikserle yerleştirilmiş ve 2 dk karıştırılmıştır. Sonrasında tartımı yapılan elyaf karışımına ilave edilmiş ve 2 dk daha karıştırılmıştır. Katı malzemelerin homojen hale gelmesinden sonra tartımı yapılan suyun üçte ikisi yavaş yavaş mikserle dökülerek 2 dk karıştırmaya devam edilmiştir. Sonrasında yüksek akışkanlaştırıcı karışımına yavaş yavaş ilave edilmiş ve bu şekilde 2 dk daha karıştırılmıştır. Kalan su yüksek akışkanlaştırıcının bulunduğu kabın durulanmasında kullanılarak karışımına ilave edilerek 2 dk daha karıştırmaya devam edilmiş ve homojen beton karışımı hazırlanmıştır. Hazırlanan beton karışımı basınç dayanımının belirlenebilmesi için 100x100x100 mm ebatlarında küp ve eğilme dayanımının belirlenebilmesi için de 400x100x20 mm ebatlarında kiriş elde etmek için ilgili kalıplara dökülmüştür (Şekil 2).



Şekil 2. Kiriş ve küp beton numuneleri

24 saatlik beklemenin ardından numuneler kalıplardan çıkartılır ve kürlenmesi için 20°C sıcaklıktaki su bulunan havuza yerleştirilir. Üretimin 28.gününde numuneler havuzdan çıkartılır. Numuneler kuruduktan sonra küp numunelere basınç dayanımı test cihazında (Şekil 3a) TS EN 12390-3 standardına göre basınç dayanımı deneyi uygulanır. Kiriş numunelere ise eğilme dayanımı test cihazında (Şekil 3b) TS EN 12390-5 standardına göre dört nokta eğilme dayanımı deneyi uygulanır.



Şekil 3. Basınç dayanımı test cihazı (a), Eğilme dayanımı test cihazı (b)

Eğilme dayanımı TS EN 12390-5 standardında belirtilen Denklem 1'e göre hesaplanmıştır.

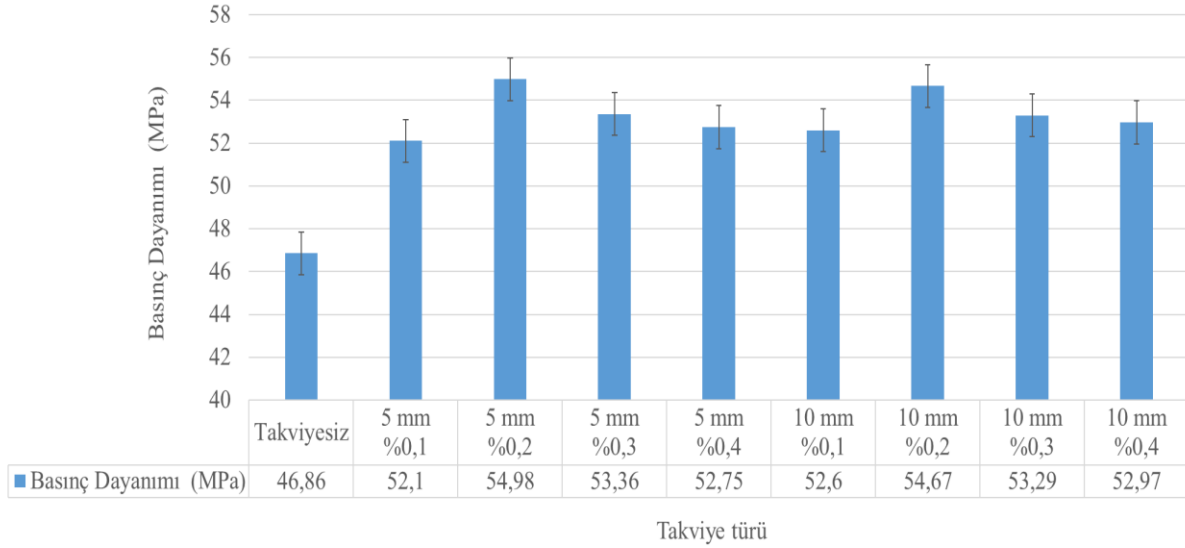
$$\sigma = \frac{(Pl)}{(bh^2)} \quad (1)$$

Denklemden; eğilme dayanımı σ , kırılma yükü P , mesnetler arası mesafe l , numune genişliği b ve numune kalınlığı h ile gösterilmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Basınç Dayanımı

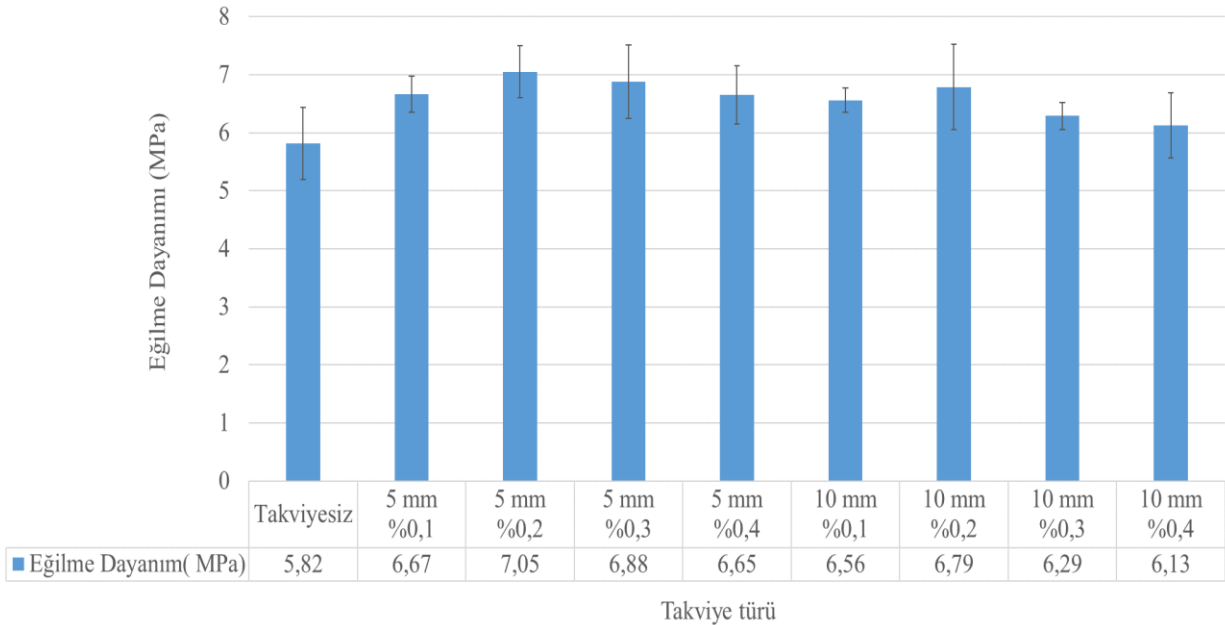
Şekil 4'de 5 ve 10 mm uzunluğundaki bazalt elyafın hacimce % 0,1-0,2-0,3-0,4 oranlarında kullanılarak hazırlanmış elyaf takviyeli beton karışımlardan üretilen 100x100x100 mm ebatlarındaki küp numunelerin basınç dayanımı testi sonuçları verilmiştir. Karşılaştırma yapmak amacıyla takviyesiz beton karışımı da hazırlanmıştır. Grafik incelendiğinde her orandaki elyaf takviyesinin betonun basınç dayanımına katkı sağladığı görülmüştür. Her iki elyaf uzunluğunda da en iyi basınç dayanımını %0,2 oranında elyaf kullanılması durumunda elde edilmiştir. Hacimce %0,2 oranında 5 mm elyaf kullanılan numuneler takviyesiz numunelere göre basınç dayanımında %17,3 artış sağlamıştır. Hacimce %0,2 oranında 10 mm elyaf kullanılan numuneler de takviyesiz numunelere göre basınç dayanımında %16,7 artış sağlamıştır. Elyaf kullanım oranı %0,2'yi geçince basınç dayanımında düşüş başlamıştır.



Şekil 4. Beton numunelerin basınç dayanımı grafiği

3.2. Eğilme Dayanımı

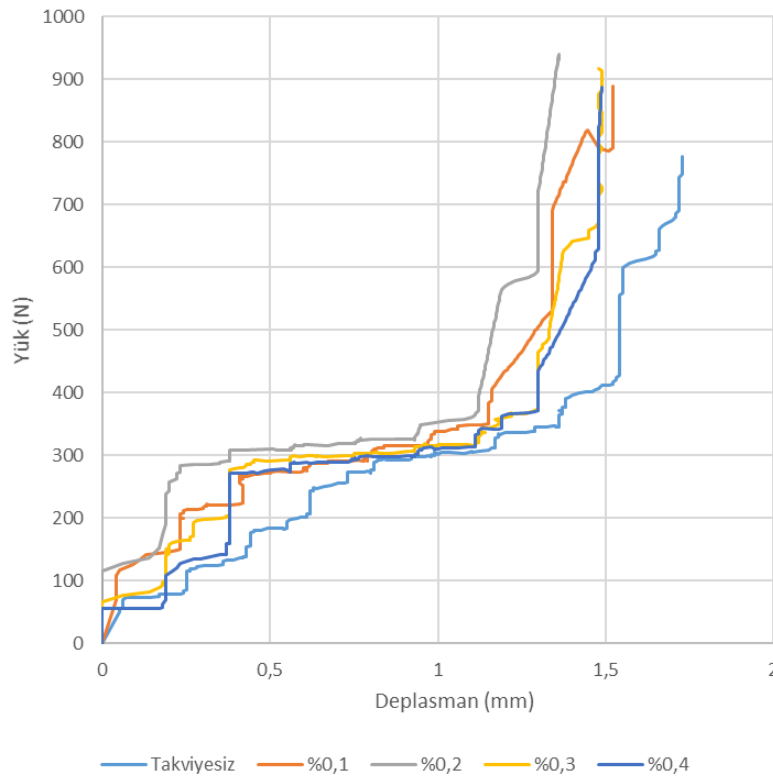
Şekil 5’de 5 ve 10 mm uzunluğundaki bazalt elyafın hacimce % 0,1-0,2-0,3-0,4 oranlarında kullanılarak hazırlanmış elyaf takviyeli beton karışımlardan üretilen 400x100x20 mm ebatlarındaki kiriş numunelerin eğilme dayanımı testi sonuçları verilmiştir. Karşılaştırma yapmak amacıyla takviyesiz beton karışımından hazırlanan numuneler de test edilmiştir. Her iki elyaf uzunluğunda ve her elyaf yüzdesinde eğilme dayanımlarının takviyesiz numunelere göre yüksek çıktığı görülmüştür. Elyaf kullanım yüzdesi arttıkça eğilme dayanımı da artmış ancak kullanım oranı %0,2’ yi geçince azalış göstermiştir. Her iki lif uzunluğu için de en iyi eğilme dayanımı elyafın hacimce %0,2 oranında kullanıldı numunelerde elde edilmiştir.



Şekil 5. Beton numunelerin eğilme dayanımı grafiği

3.3. Yük-Deplasman Grafikleri

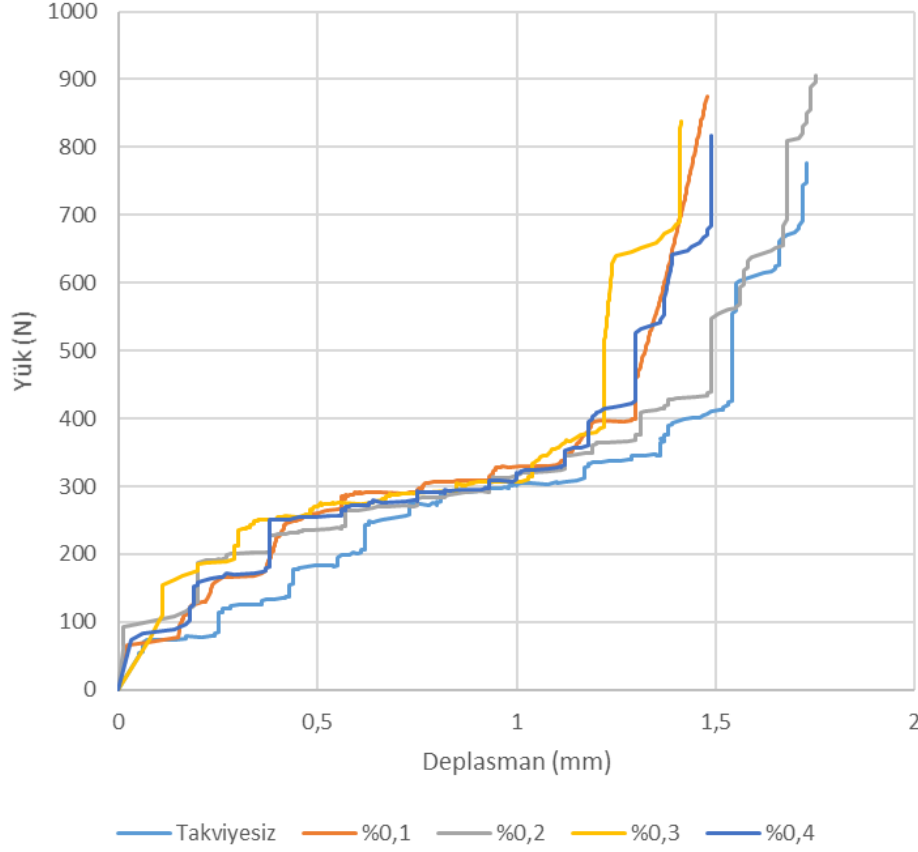
Eğilme deneyi sırasında beton numunelerin orta noktasına yerleştirilen deplasman sensörü sayesinde numunelerin yük altında yaptıkları sehim değerleri ölçülmüş ve her bir numune için yük-deplasman eğrisi oluşturulmuştur. Şekil 6'da 5 mm bazalt elyaf kullanılarak üretilmiş numunelerin yük-deplasman eğrileri verilmiştir. Karşılaştırma yapmak amacıyla da takviyesiz numunenin de yük-deplasman eğrisi oluşturulmuştur. Eğriler incelendiğinde takviyeli numunelerin takviyesiz numuneye benzer bir eğri oluşturduğu görülmüştür. Her bir takviyeli numune takviyesiz numuneye göre daha büyük yük değeri verirken daha düşük deplasman değeri vermiştir. Aynı deplasman değeri için numunelerin verdikleri yük değerleri incelendiğinde elyaf takviyeli numunelerin daha fazla yük değeri verdiği görülmüştür. Bu da elyaf takviyesinin yük altında betondaki çatlak oluşumunu azalttığını göstermektedir.



Şekil 6. 5 mm bazalt elyaf kullanımında yük-deplasman grafikleri

Şekil 7'de 10 mm bazalt elyaf kullanılarak üretilmiş numunelerin yük-deplasman eğrileri verilmiştir. Karşılaştırma yapmak amacıyla da takviyesiz numunenin de yük-deplasman eğrisi oluşturulmuştur. Eğriler incelendiğinde 5 mm takviyeli numunelerde de olduğu gibi 10 mm elyaf takviyeli numunelerin de takviyesiz numuneye benzer bir eğri oluşturduğu görülmüştür. İki elyaf uzunluğu karşılaştırıldığında 10 mm takviyeli numunelerin oluşturduğu eğrilerin takviyesiz numunenin oluşturduğu eğriye daha yakın olduğu görülmüştür. Eğrilerdeki bu farklılık 5 mm uzunluğundaki elyafın 10 mm elyafa göre beton takviyesinde daha fazla katkı sağladığını göstermektedir. Her bir takviyeli numune takviyesiz numuneye göre daha büyük yük değeri vermiştir. Deplasman değerleri incelendiğinde ise %0,2 elyaf takviyeli numuneler hariç diğer tüm takviyeli numuneler takviyesiz numuneye göre daha düşük deplasman değeri vermiştir. Aynı deplasman değeri için numunelerin verdikleri yük değerleri incelendiğinde elyaf takviyeli numunelerin daha

fazla yük değeri verdiği görülmüştür. Bu da elyaf takviyesinin yük altında betondaki çatlak oluşumunu azalttığını göstermektedir.



Şekil 7. 10 mm bazalt elyaf kullanımında yük-deplasman grafikleri

4. SONUÇ

Beton çekme dayanımını artırmak, mikro çatlak oluşumunu önlemek ve aşınma dayanımı artırmak için elyaf takviyesi yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu amaçla farklı özellikteki elyaflar beton takviyesinde kullanılmaktadır. Çalışmada iki farklı uzunluktaki bazalt elyafı beton takviyesinde kullanılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilenler aşağıdaki gibi özetlenmiştir:

- Elyaf takviyesindeki tüm yüzdelere basınç ve eğilme dayanımında artış sağlamıştır.
- Her iki elyaf uzunluğunda da %0,2 elyaf takviyeli numuneler en iyi basınç ve eğilme dayanımı vermiştir.
- Eğilme dayanımı için her bir elyaf yüzdesinde 5 mm'lik numuneler daha iyi performans göstermiştir.
- Elyaf takviyeli numuneler takviyesiz numuneler ile benzer yük-deplasman eğrileri oluşturmuştur.
- Elyaf takviyesi sayesinde numuneler daha yüksek yük değerleri sağlamasına rağmen daha düşük deplasman değerleri vermiştir.

TEŞEKKÜR

Malzeme temini ve basınç dayanımı testlerinin yapılmasındaki katkısından dolayı Adana Hacı Sabancı Organize Sanayi Bölgesinde bulunan Polisan Yapıkim'e teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

- Anas, M., Khan, M., Bilal, H., Jadoon, S., Khan, M.N. (2022). Fiber Reinforced Concrete: A Review. Eng. Proc., 22, 3.
- Brameshuber, W., 2006. Textile Reinforced Concrete, In State-of the- art Report of RILEM Technical Committee 201-TRC, RILEM Publications S.A.R.L., Bagneux, France.
- Jalasutram, S., Sahoo, D.R., Matsagar, V. (2017). Experimental investigation of the mechanical properties of basalt fiber-reinforced concrete, *Structural Concrete*, 18:292–302.
- Kızılkant, A.B., Kabay, N., Akyüncü, V., Erdoğan, G., (2014). Basalt Fibers and Mechanical Properties of Basalt Fiber Reinforced Concrete, *Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, Sigma 32, 444-452.
- Kurban, M., 2021. Hibrit İplikler Kullanılarak Düşük Maliyetli Tekstil Takviyeli Beton Geliştirilmesi, Yapı ve Özelliklerinin Araştırılması, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 363 sayfa.
- Sarı, M., (2013). Farklı Tipteki Betonun Mekanik Davranışına Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 70 sayfa.
- Ünsal, A., Şen, H., (2008). Beton ve Beton Malzemeleri Laboratuvar Deneyleri. Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı Malzeme Lab. Şubesi Müdürlüğü, T.C. Ulaştırma Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara.
- TS EN 12390-3, (2010), Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 3: Deney Numunelerinin Basınç Dayanımının Tayini, Ankara.
- TS EN 12390-5, (2010), Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 5: Deney Numunelerinin Eğilme Dayanımının Tayini, Ankara.
- Zhao, C., Wang, Z., Zhu, Z., Guo, Q., Wu, X., Zhao, R., (2023). Research on different types of fiber reinforced concrete in recent years: An overview, *Construction and Building Materials*, Volume 365, 130075.
- Zhou, H., Jia, B., Huang, H., Mou, Y. (2020). Experimental Study on Basic Mechanical Properties of Basalt Fiber Reinforced Concrete, *Materials*, 13, 1362.

ÜRETKEN YAPAY ZEKA KULLANIMINDA KULLANICI GÜVENİ VE ALGISI

Sena BAYRAKTAR

Sakarya Üniversitesi / Bilgisayar ve Bilişim Bilimleri Fakültesi / Bilişim Sistemleri Mühendisliği
sena.bayraktar2@ogr.sakarya.edu.tr

Prof.Dr. Numan ÇELEBİ

Sakarya Üniversitesi / Bilgisayar ve Bilişim Bilimleri Fakültesi / Bilişim Sistemleri Mühendisliği
ncelebi@sakarya.edu.tr

Özet

Bu çalışma, üretken yapay zekâ (ÜYZ) teknolojilerinin kullanıcı güveni ve algısı üzerindeki etkilerini incelemeye yönelik sistematik bir literatür taraması sunmaktadır. ÜYZ sistemlerinin yaygın kullanımı, özellikle doğal dil üretimi, görüntü oluşturma ve yazılım üretimi gibi alanlarda hızla artarken; bu teknolojilere duyulan güven, sistemlerin benimsenmesi ve etkin kullanımı açısından kritik bir rol oynamaktadır. Literatürdeki güncel çalışmalar taranarak, kullanıcı güvenliğini etkileyen başlıca faktörler, sistem şeffaflığı, algoritmik önyargılar, veri gizliliği, yanıt doğruluğu ve etik uyumluluk, detaylı olarak analiz edilmiştir. Bulgular, kullanıcı algısının teknik yeterlilik kadar, sistemin etik tasarımı ve iletişim biçimiyle de doğrudan ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, çalışmanın amacı, ÜYZ sistemlerinin güvenilirliğini artırmaya yönelik kullanıcı merkezli tasarım prensiplerinin belirlenmesine katkı sunmaktır.

Anahtar Kelimeler: Üretken Yapay Zekâ, Kullanıcı Güveni, Güvenilirlik, Etik Yapay Zekâ, Algoritmik Şeffaflık

USER TRUST AND PERCEPTION IN THE USE OF GENERATIVE ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Abstract

This study presents a systematic literature review aimed at examining the effects of generative artificial intelligence (GenAI) technologies on user trust and perception. As the widespread use of GenAI systems—particularly in areas such as natural language generation, image creation, and software development—continues to grow rapidly, trust in these technologies plays a critical role in their adoption and effective use. By reviewing current studies in the literature, key factors influencing user trust—such as system transparency, algorithmic bias, data privacy, response accuracy, and ethical compliance—are analyzed in detail. The findings reveal that user perception is directly related not only to technical competence but also to the ethical design and communication style of the system. In this context, the aim of the study is to contribute to the identification of user-centered design principles to enhance the reliability of GenAI systems.

Keywords: Generative Artificial Intelligence, User Trust, Reliability, Ethical Artificial Intelligence, Algorithmic Transparency

1. GİRİŞ

Yapay zekâ teknolojilerindeki hızlı ilerleme, yalnızca teknik alanları değil; bireylerin günlük yaşantılarını, iş yapış biçimlerini ve karar alma süreçlerini de derinden etkilemiştir. Bu gelişmelerin en dikkat çekici örneklerinden biri olan üretken yapay zekâ sistemleri, metin, görsel, ses ve hatta yazılım kodu gibi çeşitli içerikleri insan benzeri şekilde üretebilme yetenekleriyle geniş bir kullanıcı kitlesine hitap etmektedir. ChatGPT, DALL·E, Midjourney ve Copilot gibi uygulamaların yaygın kullanımı, bu teknolojilerin bireyler ve toplum üzerindeki etkilerini sorgulamayı gerekli kılmıştır.

Üretken yapay zekânın yükselişiyle birlikte ortaya çıkan en kritik meselelerden biri, kullanıcıların bu sistemlere duyduğu güven ve algıdır. Zira bireylerin bu sistemleri aktif şekilde kullanmaya devam etmesi, onların faydalarını sürdürülebilir kılması ve olası riskleri bertaraf edebilmesi için güven unsuru büyük önem taşımaktadır. Kullanıcılar, sistemlerin doğruluğu, etik hassasiyeti, şeffaflığı ve hata toleransı gibi birçok parametre üzerinden bu teknolojileri değerlendirmekte ve güvenlerini buna göre şekillendirmektedir.

Ancak kullanıcı güveni, yalnızca teknik yeterliliklerle açıklanabilecek bir olgu değildir. Aynı zamanda bireylerin teknolojiye dair geçmiş deneyimleri, risk algıları, kültürel değerleri ve toplumsal bağlam da bu süreci doğrudan etkilemektedir. Dolayısıyla üretken yapay zekâya yönelik güvenin ve algının çok boyutlu, disiplinler arası bir yaklaşımla incelenmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, üretken yapay zekâ kullanımında kullanıcı güveni ve algısını etkileyen faktörler, mevcut akademik literatür temelinde değerlendirilmiştir. Literatür taraması kapsamında belirlenen 16 akademik kaynak üzerinden yapılan analizlerle, güven kavramının ÜYZ bağlamında nasıl şekillendiği ve kullanıcıların bu sistemleri nasıl algıladığı detaylı biçimde ele alınmıştır. Çalışmanın amacı, üretken yapay zekâ ile kullanıcı arasında oluşan etkileşimin niteliğini daha iyi anlamak ve bu alandaki bilgi birikimine katkı sağlamaktır.

2. Literatür taraması

Çalışmaların yöntemsel yaklaşımlarını, ele aldıkları bağlamları, temel bulgularını ve literatüre katkılarını karşılaştırmalı olarak sunan Tablo 1, kullanıcı güveninin çok boyutlu yapısını görünür kılmaktadır. Literatürde öne çıkan eğilimler; güvenin yalnızca teknik doğrulukla sınırlı olmadığı, aynı zamanda etik sorumluluk, açıklanabilirlik, bireysel farklılıklar ve kullanıcı deneyimi gibi etmenlerle derinden ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle açıklanabilir yapay zekâ uygulamalarının güveni artırıcı rolü, genç kullanıcılar arasında etik farkındalık düzeyleri, antropomorfik tasarımların güven algısına etkisi ve bağlamsal güven yaklaşımları öne çıkan katkılar arasında yer almaktadır. Bu karşılaştırmalı analiz, üretken yapay zekâ sistemlerinin toplumsal kabulü ve sürdürülebilir güven ilişkileri için çok disiplinli, etik temelli ve kullanıcı merkezli yaklaşımların önemini vurgulamaktadır. Ayrıca çalışma, genç bireyler özelindeki güven algısına odaklanarak, literatürdeki önemli bir boşluğu doldurmakta ve özgün bir tematik sınıflandırma sunmaktadır.

Tablo 3 Yapay Zekâ Sistemlerinde Kullanıcı Güveni: Seçilmiş Çalışmaların Yöntem, Bağlam ve Bulguları

Yazar(lar) ve Yıl	Yöntem	Bağlam	Temel Bulgular	Katkı
Al-kfairy et al. (2024) [1]	Disiplinlerarası analiz	Generatif YZ sistemleri	Adalet ve insan hakları vurgusu	Toplumsal-etik sorumluluk ön planda
Gillath et al. (2021) [2]	Deneysel/anket	Bireysel bağlanma stilleri	Güven, sadece teknik değil duygusal temellidir	Duygusal bağlamda güvenin önemi vurgulandı
Guleria et al. (2023) [3]	Derleme/eleştirel değerlendirme	Akademik yazımda YZ kullanımı	Etik ve gizlilik riskleri var	Üretken YZ'nin akademik sınırları
Higgs & Stornaiuolo (2024) [4]	Anket & odak grup	Genç kullanıcılar	Etik farkındalık ve kullanım çeşitliliği	Gençlerin etik bilinç düzeyi
Huy et al. (2024) [5]	Anket çalışması	Kullanıcı motivasyonu	Motivasyonlar güven kadar belirleyici	Güvenin ötesindeki kabul faktörleri

Kaplan et al. (2023) [6]	Meta-analiz	Farklı YZ bağlamları	İnsan, sistem ve bağlam üçlüsü güveni belirler	Kapsamlı sınıflandırma önerisi
Kim et al. (2023) [7]	Deneyisel	Açıklanabilir YZ (XAI)	Karar nedenlerinin açıklanması güveni artırır	Şeffaflık ve açıklanabilirliğin önemi
Langer et al. (2023) [8]	Deneyisel/anket	Otomatik işe alım sistemleri	Güven onarımı stratejileri yetersiz	Güven yeniden inşası ihtiyacı
Lockey et al. (2021) [9]	Literatür değerlendirmesi	Antropomorfik YZ sistemleri	İnsan benzeri davranışlar güveni etkiler	Antropomorfizm ile güven ilişkisi tartışıldı
Lukyanenko et al. (2022) [10]	Kavramsal çerçeve geliştirme	Sistemler arası güven	“Temel Güven Çerçevesi” önerildi	Sistem teorisine dayalı model
Stanton & Jensen (2021) [11]	Literatür incelemesi	Kullanıcı deneyimi	Güvenilirlik teknik değil deneyimle de ilgilidir	Tasarım ve şeffaflık önemli
Veitch & Alsos (2022) [12]	Uygulamalı vaka incelemesi	Otonom gemi sistemleri	Kullanıcı odaklı tasarım güveni artırır	İnsan-YZ etkileşiminde deneyimsel güvenin rolü
Yang & Wibowo (2022) [13]	Sistemik derleme	2015–2022 arası güven çalışmaları	Kapsamlı kavramsal çerçeve geliştirildi	Gelecek araştırmalar için temel model
Zerilli et al. (2022) [14]	Kavramsal analiz	İnsan-YZ işbirliği	Şeffaflık ve hata toleransı güveni etkiler	Takım içi güven boyutu
Zohny et al. (2023) [15]	Etik analiz	Metin üretici YZ sistemleri	Etik yargı eksikliği güvensizlik yaratabilir	YZ'nin etik sınırları vurgulandı
Zlateva et al. (2024) [16]	Normatif analiz	Generatif YZ sistemleri	Etik çerçeveler sorumlu kullanım için şart	Etik tasarım ilkeleri önerildi
Bayraktar (2025)	Literatür taraması & eleştirel değerlendirme	Üretken yapay zekâ sistemleri ve kullanıcı güveni	Kullanıcı güveni; etik farkındalık, şeffaflık ve bağlamsal kullanım ile şekillenir	Genç bireyler özelinde literatürde eksik kalan tematik boşluğu doldurarak özgün bir sınıflama önerisi sunar

2.1 Eleştirel Değerlendirme

Günümüzde yapay zekâ (YZ) sistemlerinin kullanıcı güvenliğini kazanmadaki en büyük zorluklarından biri, bu sistemlerin insanlarla kurduğu etkileşimin yeterince derin ve çok yönlü biçimde tasarlanamamasıdır. Kullanıcı güveni yalnızca algoritmaların doğruluğu veya teknik güvenilirliğiyle sınırlı değildir; aksine, kullanıcıların YZ sistemleriyle olan ilişkileri, kişisel deneyimleri ve psikolojik algıları gibi karmaşık ve bağlamsal faktörler tarafından şekillenir.

Bu çalışma, yukarıda tartışılan temaları bir araya getirerek üretken yapay zekâ sistemlerine duyulan güvenin nasıl şekillendiğini genç kullanıcılar özelinde ele almakta ve literatürde eksik kalan bazı boyutları bütüncül bir bakışla analiz etmektedir. Özellikle etik farkındalık, bağlamsal kullanım biçimleri ve algısal güven unsurları üzerine odaklanarak, kullanıcı güveninin yeni bir sınıflandırmasını önermektedir.

Bu nedenle, teknik güvenliğin sağlanması tek başına yeterli değildir. YZ sistemlerinin aynı zamanda toplumsal ve etik boyutlara duyarlılık göstermesi, kullanıcı güveninin sürdürülebilirliğini sağlamada kritik bir role sahiptir. Nitekim Huy [5] ve Langer [8] gibi çalışmalar, etik tasarımın yalnızca doğruluk ve verimlilikle sınırlı kalmaması gerektiğini; bunun ötesine geçerek toplumsal eşitsizlikleri yeniden üretmeden, insan haklarını önceleyen yaklaşımlar benimsemesi gerektiğini vurgulamaktadır.

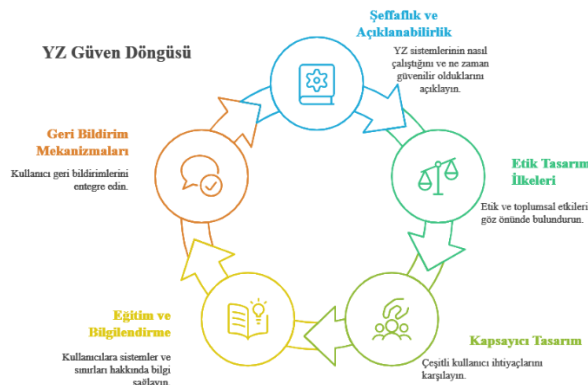
Şeffaflık konusu da bu bağlamda yeniden değerlendirilmelidir. Şeffaflık yalnızca algoritmanın nasıl çalıştığının açıklanmasıyla sınırlı değildir; aynı zamanda sistemin yetkinlikleri ve sınırlarının kullanıcıya açık bir şekilde sunulması anlamına gelir. Zerilli [16] gibi çalışmalar, dinamik görev dağılımı ve performans metriklerinin kullanıcılarla paylaşılmasının, sistemin güvenilirliğine olan algıyı artırdığını göstermektedir. Kullanıcının sistemle kurduğu ilişki, bu tür açık iletişim sayesinde daha sağlam ve bilinçli bir zemine oturmaktadır.

Bununla birlikte, kullanıcı güveninin aşırılık gösterdiği durumlar da dikkatle ele alınmalıdır. Aşırı güven, kullanıcıların YZ sistemlerini "kusursuz" olarak algılamasına ve sistem hatalarının göz ardı edilmesine neden olabilirken; aşırı şüphecilik ise sistemin potansiyelinden yararlanılamamasına yol açabilir. Bu iki uç davranışın dengelenmesi için, sistemin doğru kullanımına yönelik eğitimler ve kullanıcı farkındalığını artırmaya yönelik stratejiler geliştirilmelidir.

Sonuç olarak, kullanıcı güveni yalnızca teknolojik gelişmelerle değil, aynı zamanda etik duyarlılık, açık iletişim ve kullanıcı eğitimi gibi sosyal bileşenlerle de inşa edilmelidir. Bu bütüncül yaklaşım benimsenmeden geliştirilen YZ sistemlerinin, kullanıcılar nezdinde kalıcı güven tesis etmesi güçtür.

2.2 Öneriler

Kullanıcı güveninin sürdürülebilir biçimde inşa edilmesi için geliştirilen bu çalışma, yalnızca teknik performansla odaklanmayan; etik, toplumsal ve kullanıcı deneyimine dayalı çok boyutlu bir yaklaşım önermektedir. Şekil 1’de yer alan “YZ Güven Döngüsü” görseli, bu yaklaşımın temel bileşenlerini döngüsel bir yapıda bir araya getirmektedir. Bu yapı, şeffaflık ve açıklanabilirlik ilkeleriyle başlayan bir güven sürecinin; etik tasarım, kapsayıcı uygulamalar, kullanıcı eğitimi ve aktif geri bildirim mekanizmalarıyla beslenerek sürdürülebilir hale geldiğini göstermektedir. Önerilen bu çerçeve, kullanıcıların yalnızca bilgi sahibi olmasını değil, aynı zamanda sistemlerle etkileşim sürecine aktif biçimde katılmasını hedeflemekte ve üretken yapay zekâ sistemlerine olan güvenin uzun vadeli olarak güçlendirilmesini amaçlamaktadır.



Şekil 4. Üretken YZ sistemleri için önerilen güven artırıcı tasarım döngüsü. Güven inşası, şeffaflıkla başlamakta; etik ve kapsayıcı tasarım, kullanıcı eğitimi ve geri bildirimle pekiştirilmektedir.

2.3 Metodoloji

Bu çalışma, üretken yapay zekâ sistemlerine yönelik kullanıcı güvenliğini etkileyen faktörleri ortaya koymak amacıyla nitel bir araştırma yaklaşımı benimsemiştir. Bu kapsamda, 2021–2024 yılları arasında

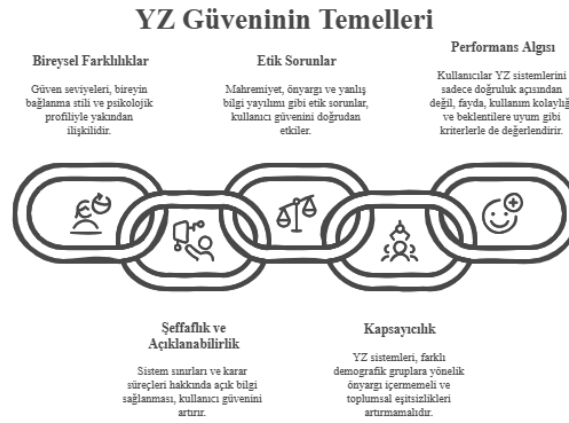
yayımlanmış, güven, etik, şeffaflık ve kullanıcı algısı gibi kavramları ele alan 16 akademik çalışma sistematik bir şekilde incelenmiştir.

Veriler, belge analizi yöntemiyle toplanmış ve tematik analiz yoluyla değerlendirilmiştir. Çalışmalardan elde edilen bulgular kodlanarak ana temalar altında sınıflandırılmış; özellikle şeffaflık, etik tasarım, bireysel farklılıklar ve geri bildirim mekanizmaları öne çıkan başlıklar olmuştur.

Bu yöntemsel yaklaşım, üretken yapay zekâya duyulan güvenin çok boyutlu doğasını kavramak ve alan yazına katkı sağlamak amacıyla yapılandırılmıştır.

2.4 Bulgular ve Tartışma

Literatür analizi sonucunda, üretken yapay zekâ sistemlerine duyulan kullanıcı güveninin çok katmanlı bir yapıya sahip olduğu ortaya konmuştur. Güven olgusunun yalnızca sistemin teknik doğruluğuyla sınırlı kalmadığı; bireysel, etik ve toplumsal boyutlarla şekillendiği görülmektedir. Yapılan çalışmalar, kullanıcı güveniyle ilişkili başlıca temaları **bireysel farklılıklar, şeffaflık ve açıklanabilirlik, etik sorunlar, kapsayıcılık ve performans algısı** olmak üzere beş temel başlık altında toplamaktadır. Şekil 2'deki görselde de bu temaları kavramsal bir bütünlük içinde sunarak güvenin yapısal bileşenlerini özetlemektedir. Örneğin, güven düzeyinin bireyin bağlanma stili ve psikolojik profiliyle ilişkili olduğu; güvenli bağlanma stiline sahip kullanıcıların YZ'ye daha fazla güven duyduğu vurgulanmaktadır [2]. Şeffaflık ve açıklanabilirlik, sistemin sınırları ve karar süreçlerine dair açık bilgi sağlanmasını gerektirir; bu da kullanıcıların sisteme olan güvenini artırmaktadır [16].



Şekil 5. Yapay Zekâ Güveninin Temel Bileşenleri

Etik sorunlar ise mahremiyet ihlali, algoritmik önyargı ve yanlış bilgi yayılımı gibi riskleri içerir ve kullanıcı güvenliğini doğrudan etkiler [3], [5]. Bu nedenle, etik ilkelere dayalı sistem tasarımları güven inşasında kritik öneme sahiptir. Kapsayıcılık ise yapay zekâ sistemlerinin farklı demografik grupları dışlamaması ve toplumsal eşitsizlikleri derinleştirmemesi gerektiğini ifade eder [8], [10]. Son olarak, performans algısı sadece teknik doğrulukla sınırlı kalmayıp; kullanım kolaylığı, sistemin faydası ve kullanıcı beklentilerine uyumu gibi unsurları da kapsar [1], [6]. Tüm bu bulgular, YZ güveninin teknik yeterliliğin ötesinde, etik sorumluluk, toplumsal adalet ve kullanıcı deneyimi gibi çok boyutlu faktörlerle inşa edildiğini açıkça göstermektedir.

2.5 Sınırlılıklar

Bu çalışmada ortaya konan sınırlılıkların kavramsal çerçevesi, Şekil 3'te görselleştirilmiştir. Şekilde, çalışmanın dar kapsamlı veri kullanımı, teknik odaklı yaklaşımı, Batı merkezli literatüre dayanması, kısa vadeli etkilerle sınırlı kalması ve yalnızca belirli sektörleri kapsamaması gibi temel sınırlılık alanları kategorik olarak sunulmaktadır. Bu çerçeve, mevcut analizlerin genellenebilirliğini kısıtlayan unsurları sistematik

biçimde ortaya koymakta ve gelecekteki araştırmalar için genişletilmesi gereken boyutlara işaret etmektedir. Özellikle kullanıcı deneyimi, kültürel bağlamlar ve uzun vadeli etkiler gibi sosyo-teknik bileşenlerin daha bütüncül biçimde ele alınması, alan yazına önemli katkılar sağlayacaktır.



Şekil 6. Çalışmanın sınırlılıkları: Veri çeşitliliği, toplumsal boyutlar, kültürel bağlam, zaman faktörü ve sektörel kapsayıcılık gibi eksiklikler görselleştirilmiştir.

3. SONUÇLAR

Bu çalışma, üretken yapay zekâ sistemlerine yönelik kullanıcı güveni ve etik tasarım ilkeleri çerçevesinde önemli bulgular ortaya koymaktadır. Toplumda YZ sistemlerinin daha sağlıklı bir biçimde benimsenebilmesi ve yaygınlaştırılabilmesi için aşağıdaki temel sonuçlara ulaşılmıştır:

- **Şeffaflık ve Güven İlişkisi:** YZ sistemlerinin güven kazanabilmesi için şeffaflık temel bir unsur olarak öne çıkmaktadır. Ancak bu şeffaflık yalnızca algoritmaların açıklanabilirliği ile sınırlı kalmamalı; sistemin çalışma mantığı, kullanılan veri kaynakları ve mevcut sınırlamaları da kapsamalıdır. Bu tür kapsamlı bir şeffaflık, kullanıcı güvenini pekiştirmede kritik rol oynamaktadır.
- **Etik Tasarım İlkeleri:** YZ sistemlerinin tasarımı yalnızca teknik doğruluk ve verimlilikle sınırlı kalmamalıdır. Toplumsal eşitsizlikler, önyargılar ve insan hakları gibi etik meseleler, sistem tasarım süreçlerinin merkezinde yer almalı ve bu faktörler, kullanıcı güvenini zedelemeyecek biçimde dikkate alınmalıdır.
- **Kapsayıcı ve Erişilebilir Tasarımlar:** YZ teknolojileri, farklı yaş gruplarına, fiziksel yeterlilik düzeylerine ve kültürel geçmişlere sahip kullanıcılar için erişilebilir ve kapsayıcı olmalıdır. Bu yaklaşım, toplumsal kapsayıcılığı teşvik ederek YZ sistemlerinin daha geniş bir kullanıcı kitlesi tarafından benimsenmesini sağlayacaktır.
- **Geri Bildirim ve Sürekli İyileştirme:** Kullanıcı güveninin sürdürülebilirliği için sistemlerin sürekli olarak geri bildirim mekanizmalarıyla desteklenmesi gereklidir. Kullanıcı deneyimlerinden elde edilen veriler doğrultusunda yapılan güncellemeler, sistemlerin güvenilirliğini ve memnuniyet düzeyini artıracaktır.
- **Eğitim ve Farkındalık:** YZ sistemlerinin güvenli ve etkin kullanımı, kullanıcıların bu sistemlerle ilgili bilgi düzeyleriyle doğrudan ilişkilidir. Sistemlerin yalnızca işleyişi değil, aynı zamanda potansiyel riskleri, sınırlamaları ve etik boyutları konusunda da kullanıcıların bilgilendirilmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda geliştirilecek eğitim ve farkındalık programları, kullanıcı güvenini artırmada önemli bir rol üstlenecektir.
- **Sonuç olarak,** üretken yapay zekâ sistemlerinin toplumda etkin ve güvenilir bir şekilde kullanılabilmesi için şeffaflık, etik tasarım, kapsayıcılık, geri bildirim temelli geliştirme ve kullanıcı eğitimi gibi çok boyutlu stratejiler benimsenmelidir. Bu alanda yürütülecek gelecekteki çalışmalar, kullanıcı güveni temelli tasarım yaklaşımlarını derinleştirecek ve YZ sistemlerinin toplumsal entegrasyonunu destekleyecektir.

4. TARTIŞMA

Bu çalışma, üretken yapay zekâ sistemlerine duyulan kullanıcı güveninin çok boyutlu doğasını ortaya koyarak, güvenin yalnızca teknik doğruluk ve sistem performansı ile sınırlı olmadığını; etik ilkeler, toplumsal bağlam ve bireysel kullanıcı özellikleri gibi değişkenlerle yakından ilişkili olduğunu göstermiştir. Literatür taraması sonucunda elde edilen bulgular, güven inşasının açıklanabilirlik, şeffaflık ve etik tasarım gibi temel ilkeler etrafında şekillendiğini, bu ilkelerin kullanıcı deneyimi ve sistemin benimsenmesi üzerinde doğrudan etkili olduğunu ortaya koymaktadır.

Çalışma, özellikle kullanıcı güveninin sürdürülebilirliğinin sağlanmasında açıklayıcı sistem özelliklerinin ve kullanıcı merkezli tasarım yaklaşımlarının belirleyici rol oynadığını vurgulamaktadır. Bu kapsamda, bireylerin yapay zekâ sistemlerine yönelik güveninin, yalnızca mevcut işlevsellik üzerinden değil, sistemle kurulan etkileşimde duyulan kontrol algısı, geçmiş deneyimler ve toplumsal değerlerle olan uyumu üzerinden de şekillendiği anlaşılmıştır.

Bu çerçevede çalışmanın temel katkısı, üretken yapay zekâ sistemlerine yönelik güvenin çok boyutlu ve dinamik yapısına dikkat çekerek, güveni artırmaya yönelik müdahale stratejilerinin yalnızca teknik düzeyde değil; etik, psikolojik ve sosyokültürel düzeyde de geliştirilmesi gerektiğini ortaya koymasındadır. Geri bildirim mekanizmalarının güçlendirilmesi, kullanıcı farkındalığının artırılması ve bireysel farklılıkların tasarıma entegre edilmesi, ÜYZ sistemlerinin daha kapsayıcı ve sürdürülebilir biçimde toplumla bütünleşmesine katkı sağlayacaktır.

Sonuç olarak, bu çalışma, üretken yapay zekâ araştırmalarında kullanıcı güvenine ilişkin literatüre teorik bir zemin sunmakta ve gelecekteki çalışmalar için disiplinler arası araştırma fırsatlarını işaret etmektedir. Bu doğrultuda geliştirilecek politikalar, sadece teknolojik ilerlemeyi değil, aynı zamanda toplumsal uyumu ve etik sorumluluğu da gözeten bütüncül bir yapay zekâ ekosisteminin inşasına katkı sağlayabilir.

KAYNAKÇA

- [1] Al-kfairy, M., Mustafa, D., Kshetri, N., Insiew, M., & Alfandi, O. (2024, September). Ethical challenges and solutions of generative AI: An interdisciplinary perspective. In *Informatics* (Vol. 11, No. 3, p. 58). Multidisciplinary Digital Publishing Institute. <https://doi.org/10.3390/informatics11030058>
- [2] Gillath, O., Ai, T., Branicky, M. S., Keshmiri, S., Davison, R. B., & Spaulding, R. (2021). Attachment and trust in artificial intelligence. *Computers in Human Behavior*, 115, 106607. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2020.106607>
- [3] Guleria, A., Krishan, K., Sharma, V., & Kanchan, T. (2023). ChatGPT: ethical concerns and challenges in academics and research. *The Journal of Infection in Developing Countries*, 17(09), 1292-1299. <https://doi.org/10.3855/jidc.18738>
- [4] Higgs, J. M., & Stornaiuolo, A. (2024). Being human in the age of generative AI: Young people's ethical concerns about writing and living with machines. *Reading Research Quarterly*, 59(4), 632-650. <https://doi.org/10.1002/rrq.552>
- [5] Huy, L. V., Nguyen, H. T., Vo-Thanh, T., Thinh, N. H. T., & Thi Thu Dung, T. (2024). Generative AI, why, how, and outcomes: A user adoption study. *AIS Transactions on Human-Computer Interaction*, 16(1), 1-27. <https://doi.org/10.17705/1thci.00198>
- [6] Kaplan, A. D., Kessler, T. T., Brill, J. C., & Hancock, P. A. (2023). Trust in artificial intelligence: Meta-analytic findings. *Human factors*, 65(2), 337-359. <https://doi.org/10.1177/00187208211013988>

- [7] Kim, S. S., Watkins, E. A., Russakovsky, O., Fong, R., & Monroy-Hernández, A. (2023, April). "help me help the ai": Understanding how explainability can support human-ai interaction. In Proceedings of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (pp. 1-17). <https://doi.org/10.1145/3544548.3581001>
- [8] Langer, M., König, C. J., Back, C., & Hemsing, V. (2023). Trust in artificial intelligence: Comparing trust processes between human and automated trustees in light of unfair bias. *Journal of Business and Psychology*, 38(3), 493-508. <https://doi.org/10.1007/s10869-022-09829-9>
- [9] Lockey, S., Gillespie, N., Holm, D., & Someh, I. A. (2021). A review of trust in artificial intelligence: Challenges, vulnerabilities and future directions. <https://hdl.handle.net/10125/71284>
- [10] Lukyanenko, R., Maass, W., & Storey, V. C. (2022). Trust in artificial intelligence: From a Foundational Trust Framework to emerging research opportunities. *Electronic Markets*, 32(4), 1993-2020. <https://doi.org/10.1007/s12525-022-00605-4>
- [11] Stanton, B., & Jensen, T. (2021). Trust and artificial intelligence. preprint, 10. <https://doi.org/10.6028/NIST.IR.8332-draft>
- [12] Veitch, E., & Alsos, O. A. (2022). A systematic review of human-AI interaction in autonomous ship systems. *Safety science*, 152, 105778. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2022.105778>
- [13] Yang, R., & Wibowo, S. (2022). User trust in artificial intelligence: A comprehensive conceptual framework. *Electronic Markets*, 32(4), 2053-2077. <https://doi.org/10.1007/s12525-022-00592-6>
- [14] Zlateva, P., Steshina, L., Petukhov, I., & Velez, D. (2024). A conceptual framework for solving ethical issues in generative artificial intelligence. In *Electronics, Communications and Networks* (pp. 110-119). IOS Press. <https://doi.org/10.3233/FAIA231182>
- [15] Zohny, H., McMillan, J., & King, M. (2023). Ethics of generative AI. *Journal of medical ethics*, 49(2), 79-80. <https://doi.org/10.1136/jme-2023-108909>
- [16] Zerilli, J., Bhatt, U., & Weller, A. (2022). How transparency modulates trust in artificial intelligence. *Patterns*, 3(4). <https://doi.org/10.1016/j.patter.2022.100455>

ATIK KÂĞITTAN ÜRETİLEN KARTON YUMURTA VİYOLLERİNİN AĞIR METAL İÇERİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Hayriye Sena YILDIRIM HIZ

Sakarya Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Kimya

E-posta: hayriye.hiz@ogr.sakarya.edu.tr

ORCID: 0009-0000-8787-0233

Mustafa Şahin DÜNDAR

Sakarya Üniversitesi Fen Fakültesi Kimya Bölümü 54187, Sakarya

E-posta: dundarms@yahoo.com

ORCID: 0000-0002-5117-7864

Özet

Günümüzde artan tüketim davranışları, atık miktarının da artmasına neden olmakta; bu durum, çevre kirliliği, geri dönüşüm ve atık yönetimi gibi çevresel sorunları da beraberinde getirmektedir. Bu doğrultuda, geri dönüşüm ile elde edilen materyallerin, yeni ürünlerin üretiminde değerlendirilmesi, çevre dostu alternatiflerin geliştirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Atık kağıtlar, geri dönüşüm proseslerinde yaygın olarak kullanılan hammaddelerdendir. Fakat, atık kağıtların geri dönüşümü sırasında kullanılan kimyasal maddeler ve çevresel faktörler, bu ürünlerin kullanımı insan sağlığı üzerinde zararlı etkiler oluşturabilmektedir. Bu çalışmanın amacı, atık kağıttan üretilen karton yumurta viyollerindeki potansiyel toksik metallerin toplam konsantrasyonlarını belirleyerek, insan sağlığı açısından taşıdığı olası riskleri ortaya koymaktır. Bu kapsamda, Türkiye genelinde üretim yapan 10 farklı üretici firmadan temin edilen karton yumurta viyolleri analiz edilmiştir. Alınan numunelerdeki Cd, Cr, Cu, Pb, Zn gibi ağır metaller ve Al metalinin toplam konsantrasyonları, indüktif eşleşmiş plazma optik emisyon spektrometresi (ICP-OES) yardımıyla ölçülmüştür. Elde edilen verilerin doğruluğu ve yöntemin güvenilirliği, metodun doğrulama çalışmaları sertifikalı standart referans madde (SRM) kullanılarak metot doğrulama çalışmaları yapılmıştır. Analizler sonucunda, numunelerde Cd, Cr, Cu, Pb, Zn ve Al gibi metallerin varlığı tespit edilmiş; ancak, ölçülen konsantrasyonların, Türk Gıda Kodeksi, WHO ve AB standartlarına göre insan sağlığı üzerinde risk oluşturmayacak düzeyde olduğu belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Atık Kağıt, Geri Dönüşüm, Karton Yumurta Viyolu, ICP-OES, Ağır Metal Analizi, İnsan Sağlığı

DETECTION OF HEAVY METAL INGREDIENTS OF CARDBOARD EGG TRAYS PRODUCED FROM WASTE PAPER

Abstract

Today, increasing consumption patterns have led to a rise in waste generation, which in turn contributes to environmental issues such as pollution, recycling, and waste management. In this regard, utilizing materials obtained through recycling in the production of new goods plays a crucial role in developing environmentally friendly alternatives. Wastepaper is among the most commonly used raw materials in recycling processes. However, the chemical substances used and the environmental factors involved in the recycling process of waste paper may have adverse effects on human health through the use of these products.

The aim of this study is to determine the total concentrations of potentially toxic metals in cardboard egg trays made from wastepaper and to evaluate the potential health risks they may pose. For this purpose,

samples of cardboard egg trays were collected from 10 different manufacturers operating across Turkey. The total concentrations of heavy metals such as Cd, Cr, Cu, Pb, and Zn, as well as the metal Al, were measured using Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES). The accuracy and reliability of the method were validated using certified standard reference materials (SRMs).

The results revealed the presence of Cd, Cr, Cu, Pb, Zn, and Al in the samples. However, the measured concentrations were found to be at levels that do not pose a risk to human health according to the Regulation on the Turkish Food Codex, WHO, and EU health standards.

Keywords: Wastepaper, Recycling, Cardboard Egg Tray, ICP-OES, Heavy Metal Analysis, Human Health

1. GİRİŞ

Günümüzde, dünya genelinde üretilen kağıt ve karton malzemelerin hammaddeleri, esas olarak iki ana kaynağa dayanmaktadır: Odun hamuru ve geri dönüştürülmüş kağıt. Odun hamuru, ormanlardan elde edilen ham selüloz liflerinin kimyasal veya mekanik işlemlerle ayrıştırılıp işlenmesiyle elde edilir. Odun hamuru üretimi sürecinde, ağaçların kesilmesi nedeniyle orman tahribatı meydana gelir, buna ek olarak çevreye zarar verebilecek kimyasal maddelerin kullanımı, yüksek enerji ve su tüketimi gibi çevresel olumsuz etkiler de ortaya çıkabilir.

Geri dönüştürülmüş kağıt ise, kullanılmış kağıt ve karton materyallerin toplanıp, temizlenmesi, parçalanması ve yeniden selüloz liflerine dönüştürülmesiyle elde edilen hammaddedir. Geri dönüşüm süreci, doğal kaynakların korunmasına, atıkların azaltılmasına ve çevresel sürdürülebilirliğin desteklenmesine katkı sağlar.

Geri dönüşüm yoluyla yeniden üretime kazandırılan atık kâğıtlar, başta ambalaj sanayi ve paketleme malzemeleri üretimi olmak üzere, temizlik ve hijyen ürünleri ile gazete, kitap, dergi ve çeşitli kırtasiye ürünlerinin üretiminde hammadde olarak kullanılmaktadır.

Kağıdın üretim sürecinde baskı mürekkepleri, ftalatlar, yüzey aktif maddeler, ağartıcılar, hidrokarbonlar gibi çeşitli toksik kimyasallar kullanılmakta; bu maddeler, kağıt üretimi, gıda tüketimi ve geri dönüşüm sırasında su yoluyla çevreye karışarak gıda zincirine sızabilmektedir. [1]

Bu toksik maddelerin yanı sıra, kağıt üretimi ve geri dönüşümü sırasında ağır metaller de çevreye yayılabilmektedir. Kimyasal olarak “ağır metaller” terimi, yoğunluğu 5 g/cm^3 ’ten büyük olan yaklaşık 40 elementi kapsayan geniş bir grubu ifade eder. Ancak bu metallerin toksisitesi, hangi kimyasal formda bulunduklarına ve günlük maruz kalma dozuna bağlıdır. [2]

İnsan sağlığı ve çevre açısından en zararlı ağır metaller arasında Kurşun (Pb), Kadmiyum (Cd), Krom (Cr), Bakır (Cu), Çinko (Zn), Cıva (Hg) ve Nikel (Ni) yer almaktadır.

Ağır metaller, insan sağlığı üzerinde ciddi olumsuz etkiler oluşturmaktadır; başta sinir sistemi, böbrekler, karaciğer ve bağışıklık sistemi üzerinde toksik etkiler göstererek, çeşitli sağlık sorunlarına neden olmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, atık kâğıt esaslı yumurta viyollerinin yapısında bulunan ağır metallerin ICP-OES tekniği ile belirlenmesi ve tespit edilen bu ağır metal konsantrasyonlarının ilgili gıda mevzuatları ile uyumluluğuna bakılarak insan sağlığı açısından oluşturabileceği potansiyel risklerin değerlendirilmesidir.

2. MATERYAL VE METOD

2.1. ICP-OES Analiz

Bu çalışmada, örneklerdeki metal konsantrasyonları İndüktif Eşleşmiş Plazma–Optik Emisyon Spektrometresi (ICP-OES) ile belirlenmiştir.

Eser elementlerin ölçülmesi için Spectro Analytical Instruments (Kleve, Almanya) firmasına ait Arcos FHE-16 model ICP-OES cihazı kullanıldı. Ölçülen elementlere ait dalga boyları nanometre (nm) cinsinden aşağıda verilmiştir:

- Al (Alüminyum): 167,078 nm
- Cd (Kadmiyum): 214,438 nm
- Cr (Krom): 267,716 nm
- Cu (Bakır): 324,754 nm
- Pb (Kurşun): 220,353 nm
- Zn (Çinko): 213,856 nm

Analizlerde her bir element için üç tekrar yapılmış, her bir tekrar için okuma süresi 50 saniye olarak ayarlanmıştır. Cihazın radyo frekans (RF) gücü ise 1450 W olarak belirlenmiştir.

2.2. Numunelerin Analize Hazırlanması

Bu çalışmada analiz edilen karton yumurta viyolleri, Sakarya ili genelindeki farklı marketlerden temin edilen ve 10 farklı üreticiye ait örneklerden oluşmaktadır. Numunelerin analiz öncesi hazırlanmasında, viyoller öncelikle 70 °C sıcaklıkta etüvde kurutulmuş, ardından mekanik olarak parçalanmıştır. Numuneler analiz gününe kadar polietilen kaplarda muhafaza edilmiştir. Kullanılan kimyasallar suprapure kalitesinde olup Merck (Darmstadt, Almanya) firmasından temin edilmiştir. Kullanılan reaktifler arasında %65 HNO₃, %37 HCl ve %30 H₂O₂ bulunmaktadır.

2.3. Mikrodalga Yöntemi ile Çözündürme

Kurutulan karton numunelerden yaklaşık 1,0 g tartılarak, her birine 8 mL HNO₃–H₂O₂ (6:2, v/v) karışımı ilave edilip 10 dakika bekletilmiştir. Çözündürme işlemi, Milestone (Japonya) marka Start D Microwave Digestion System cihazında gerçekleştirilmiştir. Kullanılan mikrodalga programı tablo 1’de sunulmuştur.

Tablo 1. Atık Kağıt Mikrodalga Programı

Adım	Zaman	Güç	Sıcaklık
1	10 dk	1000 W	200°C
2	20 dk	1000 W	200°C

2.4. Standart Referans Madde Analizi

Geri kazanım değerleri standart referans (NIST-SRM 1573a) madde kullanılarak analiz edilmiştir. Yumurta kartonları, indüktif eşleşmiş plazma-optik emisyon spektrometresi (ICP-OES) ile yapılacak ölçümler için uygun şekilde hazırlanmıştır. Sertifikalı element değerleri, analiz sonucunda elde edilen ölçüm değerleri ile karşılaştırılmış ve bu iki değer arasındaki orandan geri kazanım yüzdeleri hesaplanmıştır. Sonuçlar Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 2. NIST1573a Sertifikalı Referans Materyalinin ICP-OES ile Geri Kazanım Sonuçları (mg/kg)

Element	Sertifikalı Değer	Bulunan Değer	% Geri Kazanım
Al	596,7 ±7,4	598,4 ±7,1	99,72
Cd	1,522 ±0,224	1,517 ±0,027	100,33
Cr	1,952 ±0,032	1,988 ±0,034	98,19
Cu	4,63 ±0,13	4,70 ±0,14	98,51
Zn	30,40 ±0,63	30,94 ±0,55	98,25

2.5. Analitik Performans Parametreleri

Her bir metalin tespit sınırı, doğrusal aralığı, denklemi ve korelasyon katsayısı Tablo 3.' de verilmiştir. 0-9600 µg/kg ölçüm aralığında oluşturulan kalibrasyon çizgileri çok düşük tespit limitlerine sahiptir.

Tablo 3. Analitik Performans Parametreleri

	Tespit sınırı (mg /L)	Doğrusal aralık (mg/L)	Denklem	R ²
Al	0,009852	0,009852-9,6	$y=(3.1421 \times 10^{-6}).x+0,030171$	0,9998
Cd	0,0183	0,0183-9,6	$y=(6,0137 \times 10^{-6}).x-0,018014$	0,9999
Cr	0,0003738	0,000374-9,6	$y=(1,5281 \times 10^{-5}).x-0,037573$	0,9999
Cu	0,002169	0,00217-9,6	$y=(3,0277 \times 10^{-6}).x-0,016179$	0,9997
Pb	0,005325	0,00532-9,6	$y=(1,5424 \times 10^{-4}).x-0,33845$	0,9998
Zn	0,001337	0,00134-9,6	$y=(5,4308 \times 10^{-6}).x-0,046466$	0, 9999

3. SONUÇ

3.1 Ağır Metal Analizi

Bu çalışmada, mikrodalga destekli sindirim yöntemi; kuru ve ıslak sindirim tekniklerine göre kıyasla daha kısa sürede ve daha yüksek verimle sonuç vermesi nedeniyle tercih edilmiştir. Mikrodalga parçalama yöntemi ile elde edilen element geri kazanım oranları, kantitatif analiz açısından yeterli bulunmuştur. Analiz sonuçları, mikrodalga destekli sindirim ile ICP-OES tekniğinin Al, Cd, Cr, Cu, Pb ve Zn elementlerinin karton viyol örneklerinde tayini için güvenilir ve etkili bir yöntem olduğunu göstermektedir. On farklı markadan alınan karton viyol örneği için, bu elementlere ait metal konsantrasyonlarına ilişkin bulgular, Tablo 4.'de gösterilmiştir. Yöntemin doğruluğu, elde edilen geri kazanım oranları ile sertifikalı referans materyal (CRM) değerleri arasında gözlemlenen yüksek korelasyon ile teyit edilmiştir.

Tablo 4. Karton yumurta viyol numunelerindeki ağır metal miktarları (µg/kg)

($X_{ort} \pm sd$)

Örnek	Al	Cd	Cr	Cu	Pb	Zn
1	954,78±13,83	0,38±0,03	2,98±0,00	16,2±0,28	7,88±0,13	18,55±1,05
2	1057,5±40,05	0,15±0,00	5± 0,05	36,95±1,05	10,7±0,00	34,5±3,1
3	1336,3±45,1	0,4±0,00	8,7±0,35	39,45±1,7	13,25±0,00	46,95±2,75
4	1448,55±36,2	0,4±0,00	5,2±0,00	30,9±0,65	11,15±0,15	36,5±1,2
5	1245,5±57,05	0,05±0,5	3,35±2,65	17,35±15,05	8,1±6,45	20,25±17,9
6	1448,9±44	0,3±0,15	3,45±2,7	23,15±17,7	8,05±6,4	21,35±17,65
7	1497,1±50,35	0,45±0,00	5,65±0,00	33,25±0,6	12,7±0,00	45,8±1
8	1597,65±27,85	0,5±0,05	7,2±0,1	38,85±1,05	32,25±0,25	73,7±3,8
9	1503,6±39,35	0,5±0,05	5,15±0,05	36,9±1,4	12,6±0,05	32,75±1,45
10	1532,7±15,75	0,5±0,05	5,5±0,00	29,75±0,05	13,2±0,00	35,35±0,6

Not: Veriler µg/kg cinsindedir. Yönetmelik değerlendirmelerinde mg/kg birimi esas alınmıştır.

(1 mg = 1000 µg)

Tüm örneklerde saptanan Al konsantrasyonları 0,955 ile 1,598 mg/kg arasında değişmektedir. En yüksek Al konsantrasyonu 1,598 mg/kg ile 8 numaralı örnekte tespit edilmiş ve tabloda belirtilmiştir. En düşük Al konsantrasyonu ise 0,955 mg /kg ile 1 numaralı örnek olarak belirlenmiştir. Türk Gıda Kodeksi 'ne göre, gıda ile temas eden Al ve Al alaşımı madde ve malzemelerden gıdaya geçen Al miktarı en fazla 5 mg/kg olmalıdır. [3] Bu sonuçlar, incelenen tüm örneklerde Al geçişinin mevzuatta belirtilen sınır değerlerin oldukça altında kaldığını göstermektedir.

Yukarıdaki verilerden, en yüksek Cd değeri 0,00005 mg/kg olup örnek 8, 9 ve 10.örnek de tespit edilmiştir. En düşük Cd değeri ise 0,00005 mg/kg ile örnek 5'te gözlenmiştir. Türk Gıda Kodeksi Gıda ile Temas Eden Madde ve Malzemelere Dair Yönetmeliği'ne göre kağıt esaslı gıda temas malzemelerinde kadmiyum için izin verilen maksimum geçiş limiti 0,002 mg/dm²'dir. [3]

Bu yönetmelikteki limit, malzemenin birim yüzey alanı üzerinden gıdaya geçebilecek maksimum Cd miktarını ifade etmektedir (mg/dm²). Buna karşın, bu çalışmada ICP-OES ile belirlenen değerler malzemenin kütlesine göre (mg/kg) raporlanmıştır. Bu nedenle doğrudan karşılaştırma yapılamamakla birlikte, viyol malzemesinin yaklaşık 0,145 kg ağırlığında ve yaklaşık 9 dm² yüzey alanına sahip olduğu kabul edilirse;

Bu doğrultuda, en yüksek Cd konsantrasyonu olan 0,00050 mg/kg değeri aşağıdaki dönüşüm formülü kullanılarak yaklaşık mg/dm² cinsine dönüştürülmüştür:

$$Cd (mg /dm^2) = (0,00050 \times 0,145) / 9 \approx 0,0000081 \text{ mg/dm}^2$$

Bu değer, Türk Gıda Kodeksi'nde kağıt esaslı gıda ile temas eden malzemeler için belirtilen 0,002 mg/dm² sınırın oldukça altındadır. Dolayısıyla, analiz edilen örneklerdeki Cd düzeylerinin mevzuat açısından güvenli sınırlar içerisinde olduğu değerlendirilmektedir.

Krom (Cr) konsantrasyonları tüm örneklerde 0,00298 ile 0,00870 mg/kg aralığında bulunmuştur. En yüksek Cr değeri 3 numaralı örnekte, en düşük değer ise 1 numaralı örnekte belirlenmiştir. TS 266 İçme Suyu Standardı'na göre, toplam Cr için maksimum sınır değeri 0,05 mg/kg'dır [4]. Bu doğrultuda, tespit edilen Cr düzeyleri yasal sınırların oldukça altındadır.

Bakır (Cu) konsantrasyonları 0,0162–0,0395 mg/kg aralığında ölçülmüştür. En yüksek Cu değeri 3 numaralı örnekte, en düşük değer ise 1 numaralı örnekte gözlemlenmiştir. TS 266 standardına göre, içme suyunda bakır için izin verilen sınır 2 mg/L'dir (yaklaşık 2 mg/kg) [4]. Elde edilen değerler bu sınırın oldukça altındadır.

Kurşun (Pb) değerleri 0,00788 ile 0,03225 mg/kg arasında değişmektedir. En yüksek Pb konsantrasyonu 8 numaralı örnekte belirlenmiştir. Türk Gıda Kodeksi'ne göre, kağıt ve karton bazlı gıda temas malzemelerinde izin verilen maksimum Pb geçiş limiti 0,003 mg/dm²'dir [3]. Viyol örneklerinin yaklaşık 0,145 kg ağırlığında ve 9 dm² yüzey alanına sahip olduğu varsayıldığında, ölçülen Pb konsantrasyonları bu sınırın çok altında kalmaktadır. Bu durum, tüm örneklerin güvenli sınırlar içinde olduğunu göstermektedir. Basit bir çeviriyle örneğin ~100 dm² yüzey başına 0,3 mg/kg bakıldığında numunelerdeki Pb konsantrasyonları çok düşüktür. Örneklerin hepsi oldukça güvenli sınırlar içindedir.

Çinko konsantrasyonları ise 0,01855–0,07370 mg/kg aralığında bulunmuştur. Türkiye'de içme suyu standartları, TS 266 yönetmeliğine göre belirlenir. Bu standartta çinko için limit, WHO ve AB ile uyumlu olarak 5 mg/L'dir (yaklaşık 5 mg/kg, suyun yoğunluğu 1 kg/L kabul edilirse). [4] Buna göre, analiz edilen örneklerdeki Zn konsantrasyonları da mevzuata uygundur.

4.TARTIŞMA

Bu çalışma, Türkiye'de atık kâğıttan üretilen karton yumurta viyollerinde ağır metal konsantrasyonlarını değerlendiren ilk kapsamlı araştırmalardan biridir. Elde edilen sonuçlar, gıda teması olan ambalaj malzemelerinin güvenliği konusunda politika yapıcılara ve üreticilere rehberlik edebilir.

Atık kâğıttan üretilen karton yumurta viyollerinde bulunan ağır metaller (Pb, Cd, Cr, Zn, Cu) ile Al düzeyleri analiz edilmiş ve tüm örneklerde ölçülen değerlerin ilgili mevzuatlarda belirtilen yasal sınırlar içerisinde kaldığı belirlenmiştir. Elde edilen bulgular, bu tür malzemelerin doğrudan gıda teması olmasa da gözenekli yapıya sahip yumurta gibi ürünlerle temas potansiyeli göz önüne alındığında, insan sağlığı açısından genel olarak güvenli kabul edilebileceğini göstermektedir.

Literatürde de benzer şekilde, geri dönüştürülmüş selüloz bazlı ürünlerde belirli düzeylerde ağır metaller rastlandı; ancak uygun üretim süreçleri uygulandığında bu değerlerin yasal sınırlar içinde tutulabildiği bildirilmektedir. Özellikle yeterli mürekkepten arındırma işlemi yapılmadığında, geri dönüşümlü kâğıt esaslı ambalajlarda ağır metal birikimlerinin oluşabildiği vurgulanmaktadır. Bu durum, başta Pb ve Cd olmak üzere toksik elementlerin ambalaj malzemesinden gıdaya geçiş potansiyelini artırmakta ve halk sağlığı açısından ciddi riskler doğurabilmektedir. Dolayısıyla, mürekkepten arındırma işleminin etkinliği, geri dönüştürülmüş ambalaj materyallerinin güvenliği açısından kritik bir unsur olarak değerlendirilmektedir.[5]

Bununla birlikte, bu çalışmada elde edilen sonuçlar, analiz edilen yumurta viyollerinde ağır metal düzeylerinin tamamının yasal sınırların altında kaldığını ortaya koymaktadır. Bu durum, kullanılan atık kâğıt hammaddesinin düşük kontaminasyon seviyesine sahip olduğunu ve üretim sürecinde etkili arıtma/temizleme adımlarının uygulandığını düşündürmektedir. Önceki çalışmalara kıyasla elde edilen bulgular, geri dönüştürülmüş ambalaj materyallerinin her zaman ağır metal riski taşımadığını ve uygun proses kontrolleri ile bu riskin önemli ölçüde azaltılabileceğini göstermektedir.

Ancak, ağır metal düzeylerinin üretim partileri ve zaman içinde değişebileceği dikkate alınmalı; bu nedenle düzenli denetim ve izleme süreçleri mutlaka sürdürülmelidir. Ayrıca, farklı atık kaynaklarının ve uygulanan üretim teknolojilerinin ağır metal seviyelerine etkisini ortaya koymak amacıyla, daha geniş örnekleme gruplarını içeren ve çok merkezli olarak tasarlanmış ileri düzey çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, her zaman bilgi ve tecrübeleriyle bana yardımcı olan danışmanım sayın Prof. Dr. Mustafa Şahin DÜNDAR'a, laboratuvar çalışmalarım boyunca, destek ve yardımlarını esirgemeyen Dr. Celal CANER'e, her türlü imkânından yararlandığım Sakarya Üniversitesi Kimya Bölümü ve çalışanlarına teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

- [1] Deshwal, G. K., Panjagari, N. R., & Alam, T. (2019). An overview of paper and paper based food packaging materials: Health safety and environmental concerns. *Journal of Food Science and Technology*, Association of Food Scientists & Technologists (India)
- [2] Mititelu, M., Neacşu, S. M., Busnatu, Ş. S., Scafa-Udrişte, A., Andronic, O., Lăcraru, A.-E., Ionită-Mîndrican, C.-B., Lupuliasa, D., Negrei, C., & Olteanu, G. (2025). Assessing heavy metal contamination in food: Implications for human health and environmental safety. *Toxics*, 13(333)
- [3] Tarım ve Orman Bakanlığı. (2018). *Türk Gıda Kodeksi Gıda ile Temas Eden Madde ve Malzemelere Dair Yönetmelik*. Resmî Gazete (Sayı: 30382, 5 Nisan 2018).
- [4] Türk Standartları Enstitüsü (TSE). (2005). TS 266: İçme suyu- Fiziksel ve kimyasal özellikler için standart. Türk Standartları Enstitüsü.
- [5] Keskin, B. (2020). Kâğıt esaslı ambalajlarda kalite ve ağır metal kaynaklı problemlerin incelenmesi (Yayımlanmamış doktora tezi). Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

PA6 MATRİSLİ, SÜREKLİ KARBON ELYAFLI MALZEMENİN MEKANİK MALZEME KARTININ OLUŞTURULMASI

Sinan Zıvalı

Yalova Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Makine Mühendisliği
szivali@hotmail.com

Prof. Dr. İbrahim Sevim

Yalova Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Makine Mühendisliği
ibrahimsevim33@gmail.com

Özet

Bu çalışmada, poliamid 6 (PA6) matrisi ve sürekli karbon elyaf takviyesiyle geliştirilen bir kompozit malzemenin mekanik performansı hem deneysel testler hem de sayısal simülasyonlar yoluyla analiz edilmiştir. İncelenen malzeme, “tunnel bracket” olarak adlandırılan patentli bir otomotiv bileşeninde kullanılmakta olup, CAE ortamında Sonlu Elemanlar Analizi (FEA) ile detaylı olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen verilere dayanarak malzeme kartı oluşturulmuş ve bu kart, deneysel sonuçlarla karşılaştırılarak doğrulanmıştır. Üretim, test ve analiz adımlarını kapsayan bu bütüncül süreç, plastik kompozitlerin endüstriyel uygulamalardaki potansiyelini açıkça ortaya koymaktadır. Çalışma, teknik ve akademik anlamda özgün bir katkı sunarak ilgili sektöre değerli bir referans sağlamaktadır. Ayrıca, test ve simülasyon sonuçlarının başarılı şekilde örtüşmesi, kullanılan modelleme yaklaşımının ve malzeme tanımlarının güvenilirliğini doğrulamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Polimer Matris Kompozitler, Karbon Elyaf Takviyesi, Sonlu Elemanlar Analizi (FEA), CAE Simülasyonu, Mekanik Özellikler

CREATION OF THE MECHANICAL MATERIAL CARD FOR A PA6 MATRIX CONTINUOUS CARBON FIBER REINFORCED COMPOSITE

Abstract

In this thesis study, the mechanical performance of a composite material developed with a polyamide 6 (PA6) matrix and continuous carbon fiber reinforcement was analyzed through both experimental tests and numerical simulations. The investigated material is used in a patented automotive component called the “tunnel bracket” and was evaluated in detail using Finite Element Analysis (FEA) within a CAE environment. Based on the obtained data, a material card was generated and validated through comparison with experimental results. This comprehensive process, encompassing production, testing, and analysis steps, clearly demonstrates the potential of plastic composites in industrial applications. The study provides an original contribution in both technical and academic terms, serving as a valuable reference for the relevant sector. Moreover, the successful correlation between test and simulation results confirms the reliability of the modeling approach and material definitions used throughout the CAE process.

Keywords: Polymer Matrix Composites, Carbon Fiber Reinforcement, Finite Element Analysis (FEA), CAE Simulation, Mechanical Properties

1. GİRİŞ

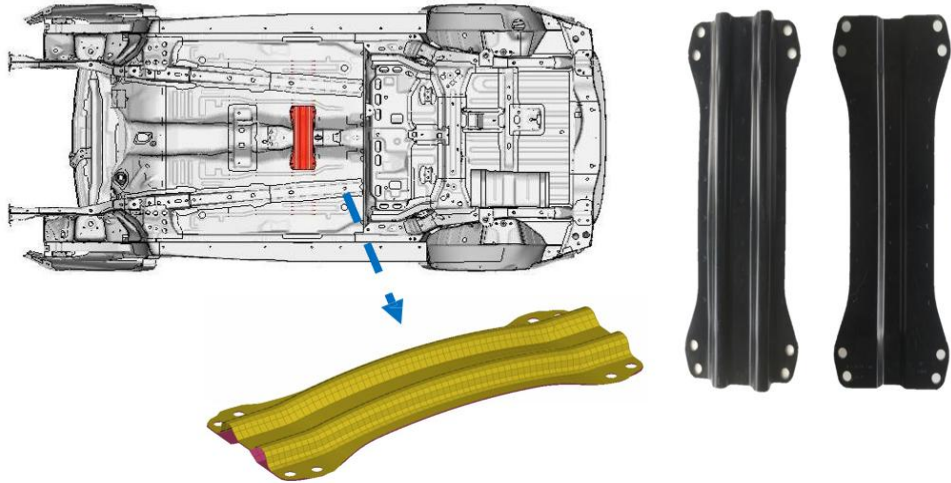
Plastik malzemeler, düşük maliyet, kolay üretim ve gelişmiş işleme teknikleri sayesinde birçok endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Ambalaj, otomotiv, elektronik ve inşaat gibi sektörlerde plastikler, metal malzemelere alternatif olarak yer bulmuştur. Son yıllarda, mekanik özelliklerini geliştirmek amacıyla plastikler; cam, karbon veya aramid elyaf gibi takviyelerle kompozit yapılar halinde kullanılmaktadır. Bu kompozitler özellikle yüksek dayanım gerektiren otomotiv ve havacılık sektörlerinde tercih edilmektedir.

Bu tez çalışmasında, PA6 (poliamid 6) matrisli ve sürekli karbon elyaf takviyeli bir kompozit malzeme üzerine kapsamlı bir inceleme gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın odak noktası, patentli bir otomotiv bileşeni olan "tunnel bracket" parçasında kullanılan bu malzemenin mekanik özelliklerinin deneysel testler ve sonlu elemanlar analizi (FEA) ile doğrulanarak, malzeme kartının oluşturulmasıdır. Parça bazlı üretim, test ve simülasyon adımlarını içeren bu süreç, hem akademik çalışmalar hem de sanayi uygulamaları açısından teknik bir referans niteliğindedir. Elde edilen veriler sayesinde, benzer kompozit yapıların tasarım, analiz ve üretim süreçlerine ışık tutulması hedeflenmektedir.

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Parça ve Malzemesi

Test için numunelerin oluşturulduğu ve malzeme kartının çıkartıldığı malzemeye sahip olan parçadan bahsetmek gerekirse, "Tunnel Bracket" diye adlandırdığımız parça Plascam A.Ş. firması tarafından üretilmiş patentli bir parçadır. Ford Courier araçlarda şaft tüneline sarmalayan ve yan destek sağlayan bu metal parça, Plascam A.Ş. tarafından polimer matrisli (PA6) ve sürekli karbon elyafı bileşimiyle yeni bir kompozit malzeme yaratmışlardır. Ek olarak da yapıştırmak ve güçlendirici özelliği için reçine kullanılmıştır. Patenti de alınan bu parçanın maalesef sahip olduğu malzemenin malzeme kartı bulunmamaktadır.



Şekil 1. Tunnel bracket parçasının araç üzerindeki görüntüsü

2.2. Malzeme Mekanik Özellikleri

Bu noktada malzeme kartının çıkarılması için hangi mekanik özelliklere, ne oranda ihtiyaç duyulduğuna karar verildi. Yapılacak testler, test merkezi, kompozit malzemenin cinsi, bileşenleri, elyaf türü, elyaf yönü ve sürekliliği düşünüldüğünde yeterli olabilecek mekanik özellikler kararlaştırılmıştır.

Tablo 1. Mekanik özellikler ve yapılması gereken testler

Material Properties	ASTM Testleri	
E1(Elastic Modulus-1)	ASTM D 3039 SG 0	Ortak
E2(Elastic Modulus-2)	ASTM D 3039 SG 90	
E3(Elastic Modulus-3)	ASTM D 3039 SG 90	

G12(Shear Modulus-12)	ASTM D5379 SG	Ortak
G13(Shear Modulus-13)	ASTM D5379 SG	
G23(Shear Modulus-23)	ASTM D5379 SG	
V12(Poisson Ratio 12)	ASTM D 3039 SG 0	
V13(Poisson Ratio 13)	ASTM D 3039 SG 0	
V23(Poisson Ratio 23)	ASTM D 3039 SG	
Tensile Stress-1	ASTM D 3039 SG 0	
Tensile Stress-2	ASTM D 3039 SG 90	
Tensile Stress-3	ASTM D 3039 SG 90	Ortak
Compressive Stress-1	ASTM D3410 SG 0	
Compressive Stress-2	ASTM D3410 SG 90	
Compressive Stress-3	ASTM D3410 SG 90	Ortak
Shear Stress-12	ASTM D5379 SG	Ortak
Shear Stress-13	ASTM D5379 SG	
Shear Stress-23	ASTM D5379 SG	
Tensile Strain-1	ASTM D 3039 SG 0	
Tensile Strain-2	ASTM D 3039 SG 90	
Tensile Strain-3	ASTM D 3039 SG 90	Ortak
Compressive Strain-1	ASTM D3410 SG 0	
Compressive Strain-2	ASTM D3410 SG 90	
Compressive Strain-3	ASTM D3410 SG 90	Ortak
Shear Strain-12	ASTM D5379 SG	
Shear Strain-13	ASTM D5379 SG	
Shear Strain-23	ASTM D5379 SG	Ortak
Yoğunluk	Kompozit ve Reçine Yoğunluğunun ortalaması	

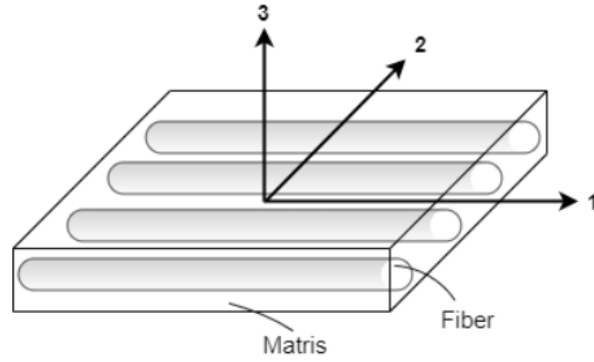
2.3. Kompozit tabaka düzlemi

Mekanik özelliklerde gördüğümüz 1,2 ve 3 numaralı işaretlemelerden bahsetmek gereklidir. Kompozit mekaniği kurallarından gelen bu numaralandırma aslında elyaf yani fiber yönlenmesidir.

1 Tabaka düzleminde, fiber doğrultusuna paralel eksen

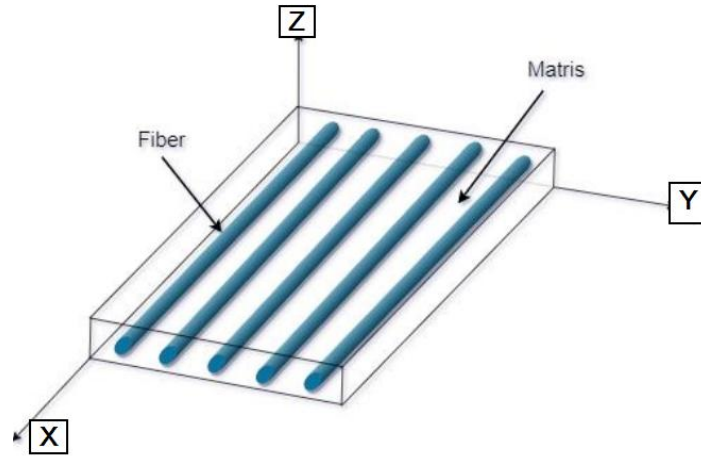
2 Tabaka düzleminde, fiber doğrultusuna dik eksen

3 Tabaka düzlemine dik ve kalınlık yönündeki eksen

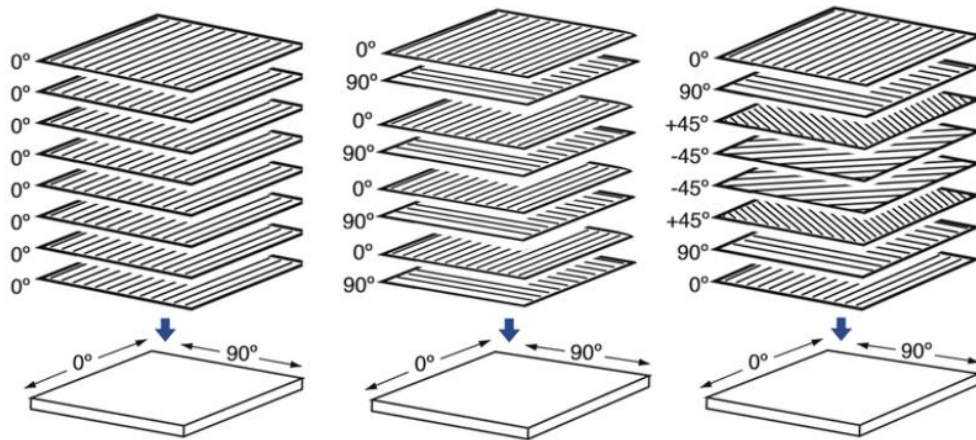


Şekil 2. Tek yönlü ve sürekli fiber takviyeli bir tabaka [3]

Kullanılan FEA programlarında ANSYS ve LS-DYNA üzerinde 1 yönü X eksen, 2 yönü Y eksen ve 3 yönü Z eksen kabul edilir. Program girdilerinde malzeme mekanik özellikleri doldururken ve test sonuçları yorumlanırken kabuller bu şekilde yapılmalıdır.



Şekil 3. Tabaka düzleminde eksenel gösterim [1]



Şekil 4. 0^0 , 90^0 , $+45^0$ karbon fiber yönelimlerinin katmanlar üzerinde gösterimi [4]

2.4. Numuneler ve ölçüleri

Numuneleri hazırlamak için test plakaları hazırlandı. Bu test plakaları farklı et kalınlıklarında ve farklı karbon elyaf diziliminde üretildi. İnovatif teknolojilerden biri olan Tailored fiber placement (TFP) yöntemi ile oluşturulan test plakaları ve parça daha sonra su jeti ile kesilmiştir. Numuneler ASTM standartlarına göre hazırlanmıştır.

Her bir test ve her bir yön için ASTM standartları incelenmiş ve yorumlanmıştır. Bu inceleme sonucunda aşağıda bulunan tablodaki numune ölçü değerleri belirlenmiştir.

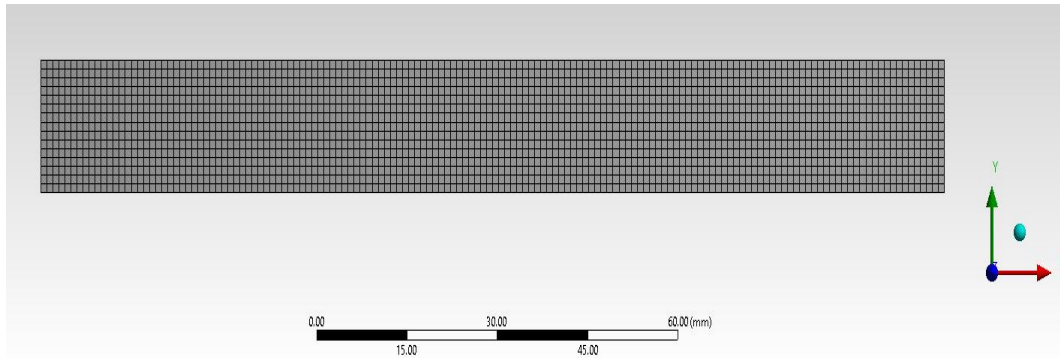
Tablo 2. Numune ölçüleri

Test Türü	Fiber Yönü	Genişlik (mm)	Boy (mm)	Kalınlık (mm)
Çekme	0^0	15	150	1
Çekme	90^0	25	125	2
Basma	0^0	10	20	2
Basma	90^0	25	20	2
Kayma	$+45^0$	15	150	4
Çekme (kalın numune)	0^0	20	76	6

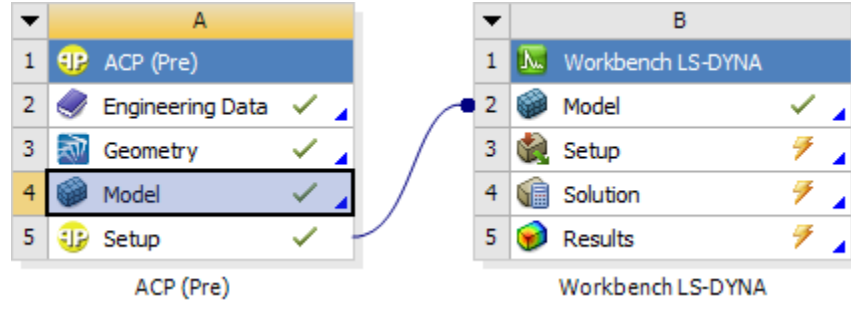
2.5. ANSYS kullanımı

	A	B	C
1	Property	Value	Unit
2	Density	1.31	g cm ⁻³
3	Orthotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion		
8	Orthotropic Elasticity		
9	Young's Modulus X direction	40524	MPa
10	Young's Modulus Y direction	4140	MPa
11	Young's Modulus Z direction	4140	MPa
12	Poisson's Ratio XY	0.17	
13	Poisson's Ratio YZ	0.49	
14	Poisson's Ratio XZ	0.17	
15	Shear Modulus XY	1800	MPa
16	Shear Modulus YZ	1350	MPa
17	Shear Modulus XZ	1800	MPa
18	Orthotropic Stress Limits		
19	Tensile X direction	726.42	MPa
20	Tensile Y direction	28.18	MPa
21	Tensile Z direction	28.18	MPa
22	Compressive X direction	-406.03	MPa
23	Compressive Y direction	-47.7	MPa
24	Compressive Z direction	-47.7	MPa
25	Shear XY	27.64	MPa
26	Shear YZ	20.73	MPa
27	Shear XZ	27.64	MPa
28	Orthotropic Strain Limits		
29	Tensile X direction	0.01437	
30	Tensile Y direction	0.0096	
31	Tensile Z direction	0.0096	
32	Compressive X direction	-0.0033	
33	Compressive Y direction	-0.00016	
34	Compressive Z direction	-0.00016	
35	Shear XY	0.05	
36	Shear YZ	0.0375	
37	Shear XZ	0.05	

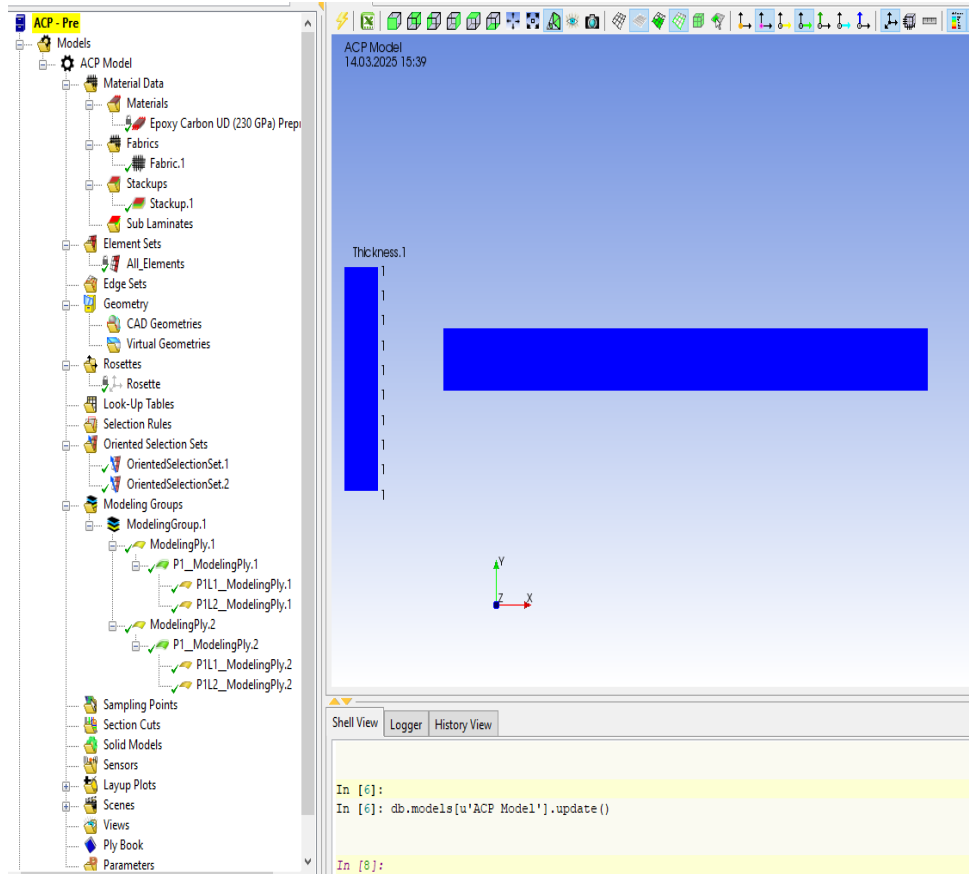
Şekil 5. ANSYS içinde malzeme tanımlama ve özellikler girdisi



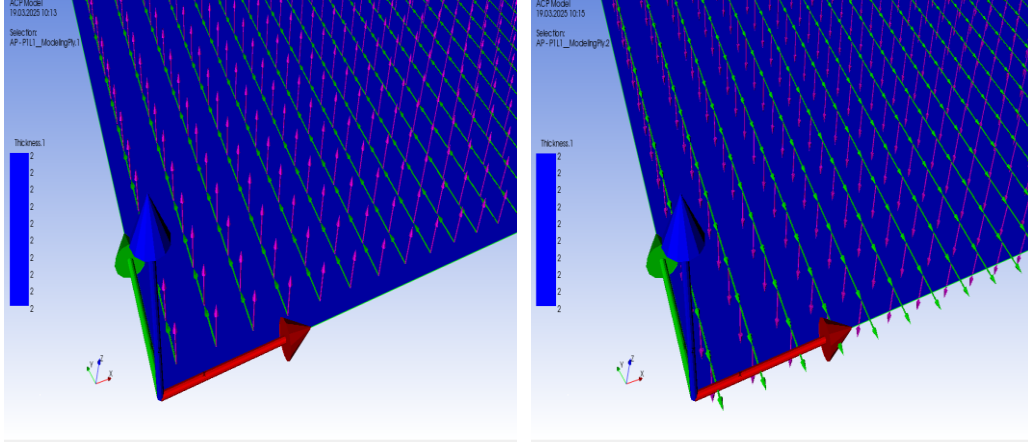
Şekil 6. ANSYS içinde numunenin mesh hali



Şekil 7. ANSYS kronolojik çalışma sayfası

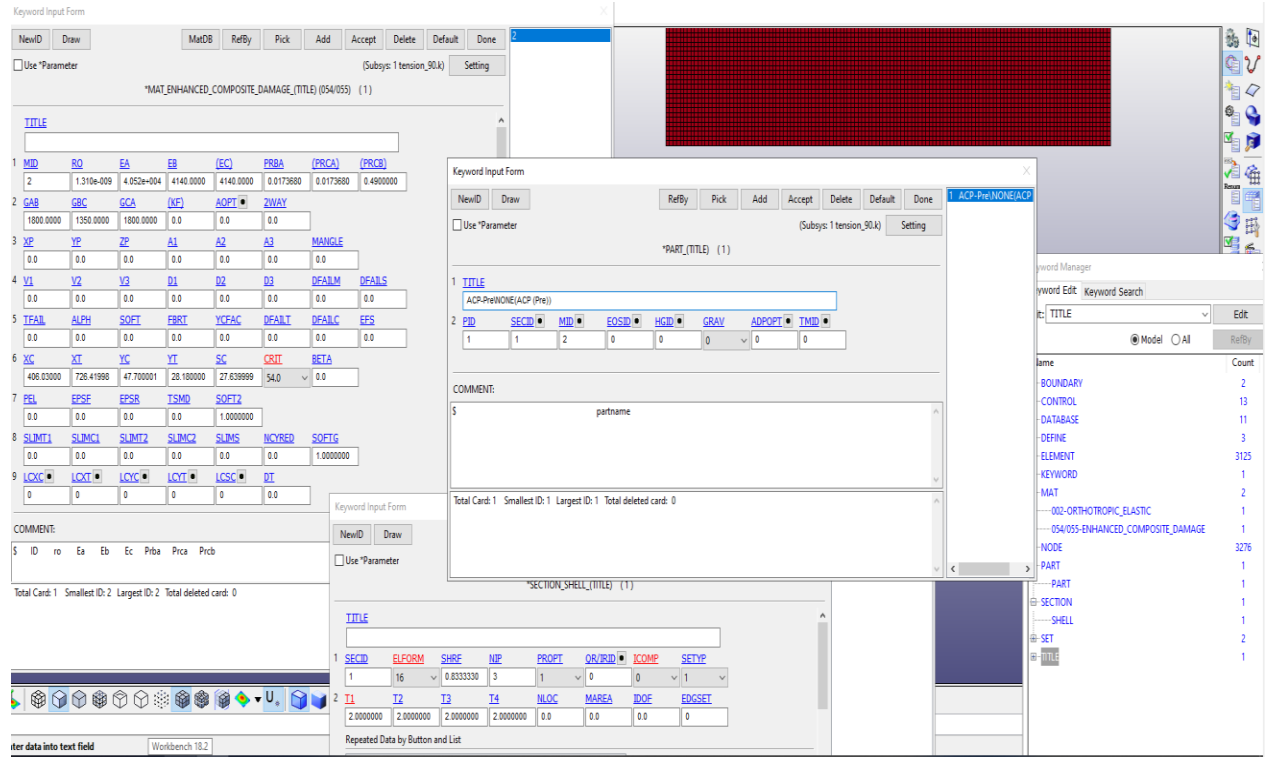


Şekil 8. ACP modellemeye ürün ağacı



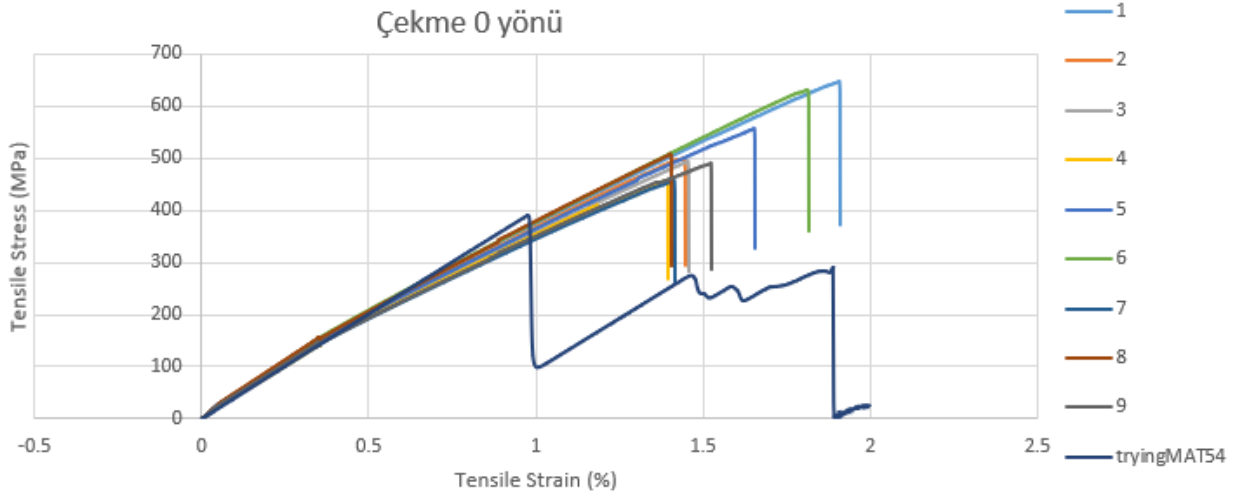
Şekil 9. Modeling fly fiber yönlü görünüm

2.6. LS-DYNA kullanımı

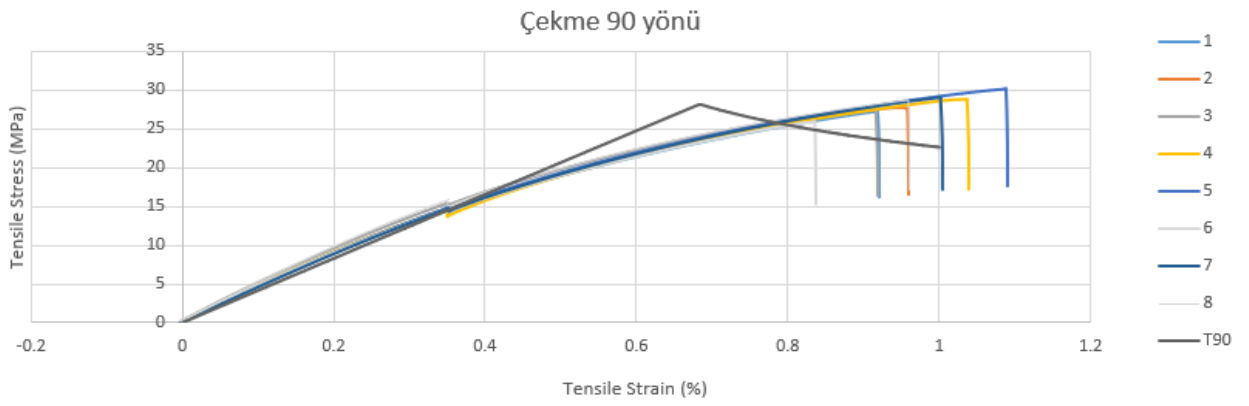


Şekil 9. Ls dyna malzeme ve model girdisi

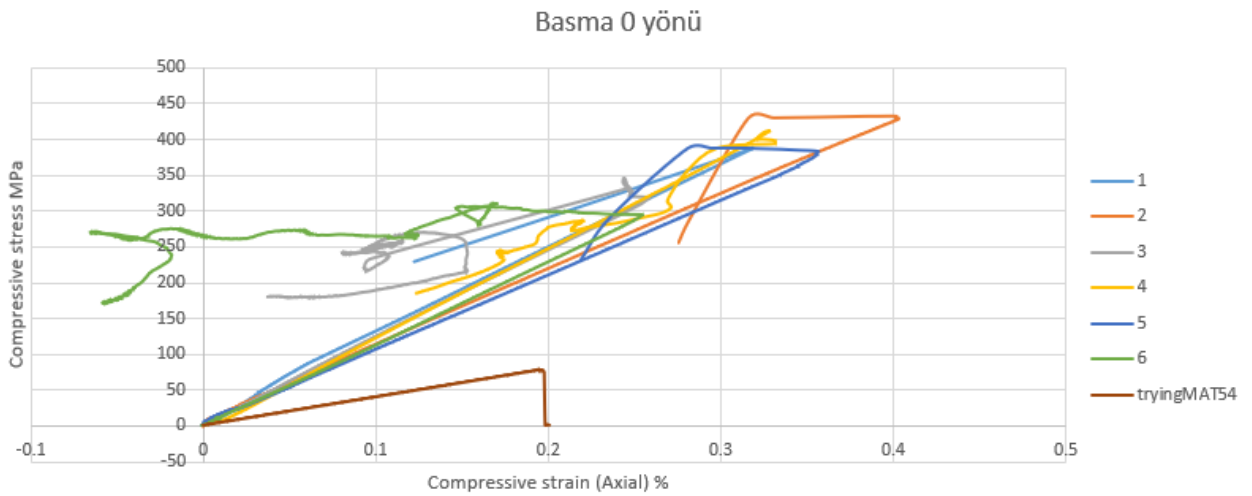
3. SONUÇ



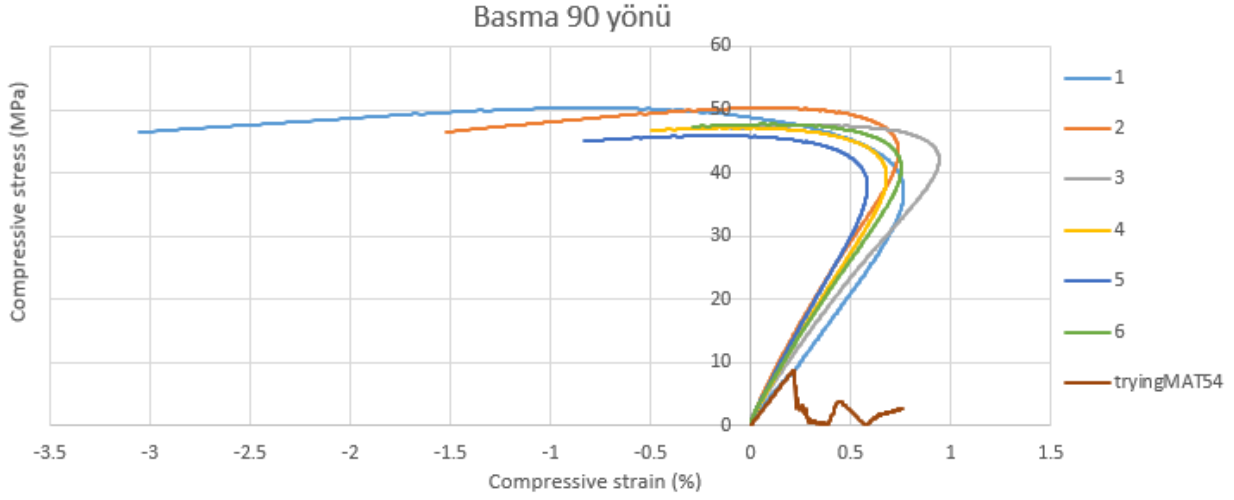
Şekil 10. Çekme 0 yönü sonuçları



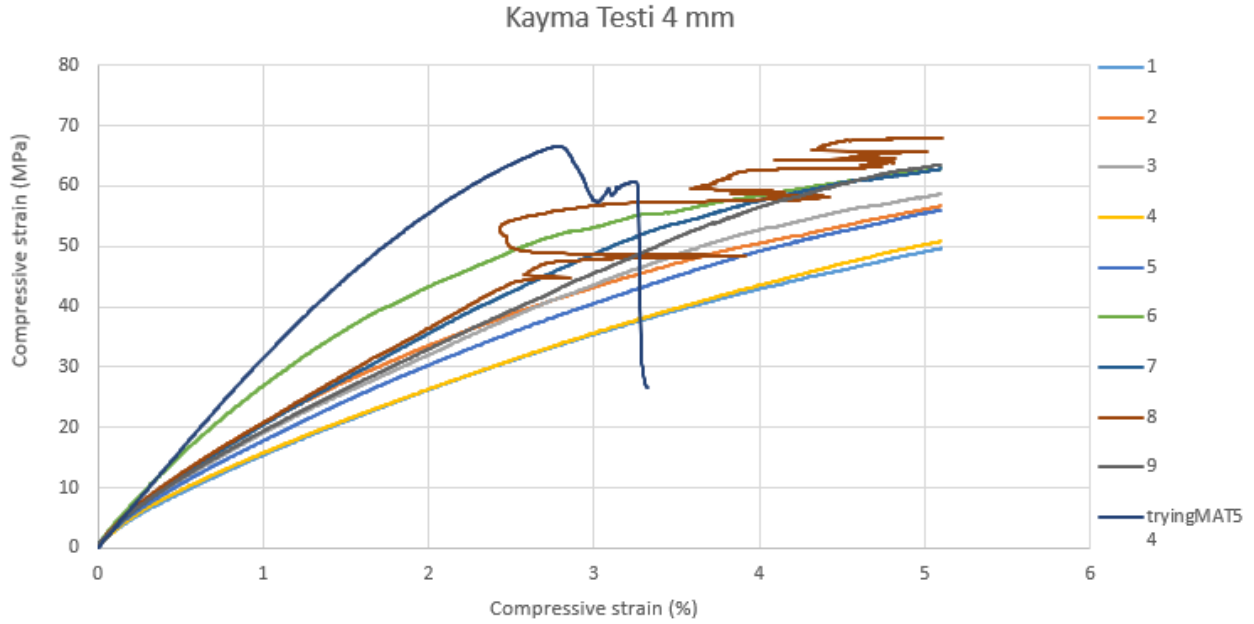
Şekil 11. Çekme 90 yönü sonuçları



Şekil 12. Basma 0 yönü sonuçları



Şekil 13. Basma 90 yönü sonuçları



Şekil 14. Kayma test ve analiz sonuçları

4. TARTIŞMA

Yapılan mekanik testler ve LS-DYNA ortamında oluşturulan MAT_54 malzeme modeli sonuçları genel olarak birbirini desteklemektedir. Çekme 0° yönünde elde edilen simülasyon verileri, deneysel eğrilerle yüksek oranda örtüşerek modelin bu yönelimde güvenilir sonuçlar verdiğini göstermiştir. Çekme 90° yönünde ise simülasyon, elastik bölgeyi doğru şekilde temsil etmiş, ancak kopma sonrası davranışta sınırlı doğruluk sergilemiştir. Basma 0° yönünde doğrusal olmayan gerinim-gerilme ilişkisi deneysel olarak

yakalanmış, ancak bazı test varyasyonlarıyla kıyaslandığında modelin gerilme seviyesi daha düşük kalmıştır. Basma 90° yönü verileri, simülasyonun elastik sınır sonrası ani dayanım kaybını yeterince yansıtamadığını göstermiş, bu durum modelin bu yönde daha fazla kalibrasyona ihtiyaç duyduğunu ortaya koymuştur. Son olarak kayma testinde, MAT_54 modeli genel deformasyon eğilimini takip ederek çoklu deney sonuçlarıyla uyumlu bir doğrulama sağlamıştır. Tüm bu değerlendirmeler, modelin yönelime bağlı doğruluk düzeylerinin değişkenlik gösterdiğini ve özellikle doğrusal olmayan bölgelerde iyileştirme gerektirdiğini ortaya koymaktadır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma sürecinde değerli akademik yönlendirmeleriyle katkı sağlayan değerli hocam Prof. Dr. İbrahim Sevim'e içten teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, teknik desteğini her aşamada sağlayan Plascam Ürün Geliştirme Şefi Faruk Yıldız'a şükranlarımı iletirim. Patentli parça desteği, mühendislik altyapısı ve proje süresince sağladığı maddi-manevi katkılar nedeniyle çalıştığım kurum olan Plascam A.Ş.'ye teşekkür eder, bu sürecin hem akademik hem de endüstriyel anlamda değerli bir çıktıya dönüşmesini mümkün kıldıkları için minnettarlığımı belirtmek isterim.

KAYNAKLAR

- [1] G. Çolak Bayram, "Ahşap-Plastik kompozitlerin endüstriyel üretim sürecine ilişkin yaşam döngüsü çevresel sürdürülebilirlik analizi," Yüksek Lisans Tezi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bilecik, 2024.
- [2] DCKompozit, "Partikül Takviyeli Kompozitler: Özellikleri ve Kullanım Alanları," dckompozit.com, 13-Aug-2024. [Online]. Available: <https://dckompozit.com>. [Accessed: 20-May-2025].
- [3] M. Zor, "Ortotropik Malzeme Özelliklerinin Teorik Hesabı," Kompozit Malzeme Mekaniği – Ders Notları, 23 Ağustos 2024.
- [4] ResearchGate, "An illustration showing the carbon fibre orientations used in this study," 2025. [Çevrimiçi]. Erişim: 04 Mart 2025. Kullanılabilir: https://www.researchgate.net/figure/An-illustration-showing-the-carbon-fibre-orientations-used-in-this-study_fig1_365302629

ÜRETKEN YAPAY ZEKA İLE BİLİŞSEL YÜKÜN AZALTILMASI

Elif Şile

Sakarya Üniversitesi / Bilgisayar ve Bilişim Bilimleri Fakültesi
elif.sile@ogr.sakarya.edu.tr

Özet

Son yıllarda hızla gelişen üretici yapay zeka teknolojileri, insan-bilgisayar etkileşimini dönüştürme ve bireyler için bilişsel yükü azaltma potansiyeline sahiptir. Bu çalışma, büyük dil modelleri, görsel üretim araçları ve benzeri GenAI sistemlerinin; bilgi işleme, karar verme ve içerik oluşturma gibi bilişsel olarak zorlayıcı süreçlerde kullanıcılara nasıl yardımcı olabileceğini incelemektedir. Eğitim, sağlık ve iş dünyası gibi çeşitli alanlardaki vaka çalışmaları aracılığıyla, GenAI'nin karmaşık görevleri nasıl basitleştirdiği ve zihinsel çabayı nasıl azalttığı gösterilmektedir. Bilişsel psikoloji ve insan odaklı yapay zeka tasarımı perspektiflerini bir araya getiren bu çalışma, üretici yapay zekanın daha verimli ve kullanıcı dostu sistemler geliştirmek için nasıl kullanılabileceğine dair yeni bir yaklaşım sunmaktadır. Bu bağlamda, bilişsel destek sağlayan GenAI çözümleri için tasarım ilkeleri önerilmektedir.

Anahtar Kelimeleri: Üretken yapay zeka, bilişsel yük teorisi, eğitimde üretken yapay zeka, sağlıkta üretken yapay zeka, bankacılıkta üretken yapay zeka, pazarlamada üretken yapay zeka

REDUCING COGNITIVE LOAD WITH GENERATIVE ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Abstract

In recent years, rapidly advancing generative artificial intelligence technologies have the potential to transform human-computer interaction and reduce cognitive load for individuals. This study explores how large language models, visual generation tools, and similar GenAI systems can assist users in cognitively demanding processes such as information processing, decision-making, and content creation. Through case studies in various fields, including education, healthcare, and business, the study demonstrates how GenAI simplifies complex tasks and reduces mental effort. By combining perspectives from cognitive psychology and human-centered AI design, this work presents a novel approach to how generative AI can be used to develop more efficient and user-friendly systems. In this context, design principles for GenAI solutions that provide cognitive support are proposed.

Keywords: Generative AI, cognitive load, generative AI in education, generative AI in healthcare, generative AI in banking, generative AI in healthcare.

1. GİRİŞ

Bu makalede, üretken yapay zekâ (GenAI) teknolojilerinin bilişsel yükün azaltılmasındaki potansiyel rolü ele alınmaktadır. Araştırmanın amacı, bireylerin bilişsel kapasitesine uygun bilgisayar tabanlı uygulamaların geliştirilmesinde üretken yapay zekânın nasıl bu yükü azaltabileceğini kapsamlı biçimde incelemektir. Bu bağlamda öncelikle bilişsel yük teorisi ile üretken yapay zekâ kavramları açıklanmakta, ardından farklı alanlardaki uygulamalar üzerinden GenAI teknolojilerinin bilişsel yükü nasıl azalttığı değerlendirilmektedir. Çalışma, mevcut literatür ışığında hem teorik bir çerçeve sunmakta hem de üretken yapay zekânın eğitimden sağlığa, insan-bilgisayar etkileşiminden karar destek sistemlerine kadar uzanan çeşitli kullanım senaryolarında sunduğu katkıları ortaya koymayı hedeflemektedir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Bu çalışmada, üretken yapay zekanın (GenAI) bilişsel yükü azaltma potansiyelini incelemek amacıyla nitel bir araştırma yöntemi olarak literatür taraması yapılmıştır. Araştırma sürecinde, ScienceDirect, Scopus, IEEE Xplore ve Google Scholar gibi güvenilir akademik veri tabanları kullanılarak 2018–2024 yılları arasında yayımlanmış makaleler incelenmiştir. Seçilen kaynakların belirlenmesinde anahtar kelimeler olarak “cognitive load”, “generative AI”, “LLM”, “AI-assisted learning” ve “cognitive performance” ifadeleri kullanılmıştır.

3. BİLİŞSEL YÜK TEORİSİ

Bilişsel yük teorisi, insan bilişsel mimarisine dayalı olarak etkili öğretim tasarımları geliştirmeye odaklanan bir öğretim teorisidir. Teoriye göre, öğrenme sürecinde bireylerin sınırlı kapasiteli çalışma belleği aşırı yüklenirse, bilginin uzun süreli belleğe aktarımı zorlaşır. Bu nedenle öğretim materyallerinin tasarımında bilişsel yükü optimize edecek yöntemlerin kullanılması önerilir. Teori kapsamında çeşitli etkiler tanımlanmış olsa da, temel amaç; öğrenmeyi desteklemek için çalışma belleği üzerindeki yükün dengelenmesidir. (Sweller, 2024) Bu teori, özellikle karmaşık ve zihinsel olarak yoğun görevlerde, aşırı bilgi yüklenmesinin bireyin performansını olumsuz yönde etkileyebileceğini öne sürmektedir. Ancak, bilişsel yükün doğrudan ölçülmesi oldukça zordur. Bu nedenle, genellikle uzman değerlendirmeleri, öznel raporlamalar ve görev performansı gibi dolaylı yöntemlerle değerlendirilir. (Khan et al., 2024a)

Son yıllarda, bireylerin bilişsel yük düzeylerini daha objektif bir biçimde ölçmek için invaziv olmayan fizyolojik yöntemler yaygın olarak kullanılmaktadır. Bilişsel yükteki değişiklikler; elektroensefalogram (EEG), elektrokardiyogram (EKG), göz izleme teknolojileri, fonksiyonel kızılötesi spektroskopi (fNIRS), cilt iletkenliği ölçümleri ve pozitron emisyon tomografisi (PET) gibi çeşitli biyometrik parametrelerle tespit edilebilmektedir. (Khan et al., 2024b) Bu bağlamda, gelişmiş teknolojilerden biri olan üretken yapay zekâ (GenAI), bilişsel yükü azaltma potansiyeliyle dikkat çekmektedir. GenAI; bilgi sunumu, içerik üretimi ve kişiselleştirilmiş destek sağlama gibi yetenekleri sayesinde bireylerin zihinsel çabasını azaltmaya yardımcı olabilecek etkili bir araç olarak öne çıkmaktadır.

4. ÜRETKEN YAPAY ZEKA

Üretken yapay zekâ (GenAI), makine öğrenimi (ML) modelleri kullanarak yeni ve özgün içerikler üretme yeteneğine sahip yapay zekâ teknolojilerini ifade etmektedir. Bu teknoloji, metin, görüntü, ses, müzik ve video gibi çeşitli veri türlerinde içerik üretmek amacıyla, daha önce insan tarafından oluşturulmuş büyük veri kümeleri üzerinde kalıplar ve ilişkiler öğrenir. Öğrenilen bu kalıplar sayesinde GenAI, benzer biçimde yapılandırılmış ancak tamamen yeni içerikler oluşturabilir.

Yapay zekânın genel bir alt dalı olan GenAI, geleneksel makine öğrenimi yaklaşımlarından farklı olarak yalnızca geçmiş verilere dayalı tahminlerde bulunmakla kalmaz, aynı zamanda yaratıcı üretim süreçlerinde aktif bir rol üstlenir. Özellikle büyük dil modelleri (Large Language Models - LLM), görüntü üretim sistemleri, ses sentezleyicileri ve video tabanlı modeller, üretken yapay zekâ uygulamalarının temel yapı taşlarını oluşturmaktadır. Bu modeller, eğitim aldıkları veri kümeleri aracılığıyla dilin yapısını, görsel kompozisyonları ve ses örüntülerini öğrenerek kullanıcı girdilerine yanıt olarak yüksek kalitede içerik üretebilmektedir.

Günümüzde yaygın olarak kullanılan bazı üretken yapay zekâ araçları arasında OpenAI tarafından geliştirilen ChatGPT, GPT-4, Playground, DALL·E 3 ve Sora; Anthropic tarafından geliştirilen Claude; Google'ın geliştirdiği Gemini (eski adıyla Bard); Stability AI'nın Stable Diffusion 3 modeli ve Runway'in Gen-2 video üretim modeli yer almaktadır. Bu sistemler, eğitim, sağlık, medya, yazılım geliştirme, tasarım ve içerik üretimi gibi pek çok alanda bilişsel süreçleri destekleyen araçlar olarak konumlanmakta ve bireylerin zihinsel yükünü azaltmada potansiyel çözümler sunmaktadır. (Law, 2024)

4.1 Eğitimde Üretken Yapay Zeka

Günümüzde üretici yapay zeka (GenAI), eğitimde çok yönlü katkılar sunarak hem öğretmenlerin hem de öğrencilerin deneyimlerini dönüştürmektedir. GenAI'nin sunduğu görsel materyal önerileri, sunum şablonları ve etkileşimli içerik desteği sayesinde bilgilendirici materyallerin hazırlanması daha hızlı ve etkili hâle gelmektedir. Öğretmenler için ise sınav ve testlerin oluşturulmasından, öğrenci performanslarına dair geri bildirimlerin değerlendirilmesine kadar pek çok alanda kolaylaştırıcı bir rol üstlenmektedir. GenAI destekli veri analizleri sayesinde, öğretmenler öğrenci başarı trendlerini kolaylıkla izleyebilir ve öğretim stratejilerini buna göre güncelleyebilir. Öğretim ve öğrenme birbiriyle

bağlantılıdır. Bu durum, GenAI'ı öğrenme rollerini tamamlayan bir konuma getirir. (Hsu & Ching, 123 C.E.)

Araştırma süreçlerinde de GenAI, önemli bir destekleyici araç olarak öne çıkmaktadır. Araştırmacılar fikirlerini kısaca ifade ettiklerinde, yapay zeka alternatif yöntemler önerebilir, bu yöntemlerin geçmiş çalışmalarda nasıl kullanıldığına dair örnekler sunabilir ve araştırma sürecine yön verecek açıklayıcı içerikler sağlayabilir. Özellikle literatür taramalarında zaman kazandıran özetleme yetenekleri ve gelecekteki araştırma olasılıklarına dair yönlendirmeleriyle, bilimsel üretimi kolaylaştırmakta ve hızlandırmaktadır.

(IEEE Xplore Full-Text PDF:, n.d.)

4.2 Pazarlamada Üretken Yapay Zeka

Pazarlama alanında içerik üretimini kolaylaştırmak amacıyla pek çok üretici yapay zekâ (GenAI) aracı geliştirilmiştir. Copy.ai, Jasper.ai ve Peppertype.ai gibi sistemler, özellikle metin tabanlı pazarlama içeriklerinin oluşturulmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Büyük dijital reklam platformları da bu araçları kullanıcılarına sunmaktadır.

Meta, Mayıs 2023'te reklamverenler için geliştirdiği GenAI Sandbox aracılığıyla; reklam metinlerinin farklı versiyonlarını öneren, çeşitli platformlara uygun görselleri otomatik olarak kırpıp ve sosyal medya içerikleri için yaratıcı formatlar sunan özellikler geliştirmiştir (Kshetri et al., 2024)

4.3 Bankacılık Sektöründe Üretken Yapay Zeka

Finans sektörü, süreçlerin otomasyonu ve büyük veri analitiği gibi alanlara yoğun şekilde odaklandığı için yapay zekânın, özellikle de üretken yapay zekânın (GenAI), adaptasyonu konusunda öncü bir rol üstlenmektedir. İnsan kaynaklı önyargı ve psikolojik faktörlerden etkilenmeyen bu teknolojiler, öngörüsüz analizlerin doğruluğunu ve tarafsızlığını artırmak açısından önemli bir avantaj sunar. GenAI, kredi değerlendirme süreçlerinin hızlandırılması ve daha tutarlı kararların alınması açısından hem finansal kurumlara hem de müşterilere önemli katkılar sağlayabilir. (Vivek Kumar Mishra et al., 2025)

Özellikle bankacılık sektöründe, kredi riskini daha etkin yönetme ve bireylerin finansal güvenliğini destekleme noktasında GenAI'nin potansiyeli dikkat çekicidir. Kredi puanlamasında yaşanan belirsizlikler ve karar süreçlerindeki verimsizlikler, kuruluşların sürdürülebilir büyümesini olumsuz etkileyebilmektedir. GenAI, bu sorunların üstesinden gelmek için gelişmiş analiz yetenekleri sunarak daha doğru risk değerlendirmeleri yapılmasını mümkün kılar. Böylece hem müşteri hem de kuruluş düzeyinde daha sağlıklı finansal kararlar alınmasına katkı sağlar (Researcher, n.d.)

Ayrıca, AI, piyasa risklerinin göstergeleri için finansal haberleri, düzenleyici güncellemeleri ve sosyal medyadaki olayları izlemek için NLP ve öngörücü analitiği de kullanabilir. Bu yöntem, hedge fonlarının, merkez bankalarının ve finansal düzenleyicilerin ekonomik değişikliklere ve siber güvenlik risklerine karşı dikkatli davranmasını sağlar

4.4 Sağlıkta Üretken Yapay Zeka

Büyük dil modellerinin (LLM'ler) genel yetenekleri, sağlık profesyonellerinin hastalara sunabileceği hizmetlerin kapsamını genişletme hususunda önemli bir potansiyele işaret etmektedir. (Liu et al., 2023) Özel bir sağlık verisi eğitimi almamış olsalar dahi, ChatGPT gibi üretken yapay zeka (GenAI) tabanlı sohbet robotlarının çeşitli uygulamaları, tanı koyma, tedavi planlama, hastalık taraması, hasta yönetimi, iletişim süreçleri ve hekim-hasta etkileşimi de dahil olmak üzere klinik bakımın hemen her aşamasında ümit vadeden etkiler sergilemektedir (Chen et al., 2024)

Radyologların karmaşık taramaları daha hızlı ve doğru bir şekilde analiz etmelerine yardımcı olmak için birçok geleneksel AI aracı zaten kullanılmaktadır. GenAI'nın görüntü tanıma yetenekleri tıbbi görüntüleme potansiyeline sahip olabilir. Sonuçlar, GenAI aracının kullanılmasının acil servis doktorları

tarafından göğüs radyografisinin zamanında yorumlanmasını kolaylaştırabileceğini düşündürmektedir. Tanısal görüntüleme GenAI'nin bir başka fizibilite çalışması, ChatGPT-4'ün görüntüleme modellerine dayalı üst diferansiyel tanıların belirlenmesinde uzman fikir birliği ile % 68.8'lik bir uyum sağladığını ve ChatGPT-4 tarafından önerilen diferansiyel tanıların % 93.8'inin kabul edilebilir alternatifler olarak kabul edildiğini gösterdi. (Huang et al., 2023)

5. BULGULAR

Bu bölümde çalışmada incelenen alanlardaki üretken yapay zekâ (GenAI) uygulamalarının, bilişsel yükü azaltma açısından nasıl etkiler yarattığı özetlenmiştir. Eğitimde GenAI araçlarının öğretim materyallerinin hazırlanmasını kolaylaştırdığı, öğretmenlerin değerlendirme süreçlerini hızlandırdığı ve öğrenciler için kişiselleştirilmiş destek sunduğu gözlemlenmiştir.

Pazarlama alanında, içerik üretiminin otomatikleştirilmesi ve reklam tasarımlarında sağlanan kolaylıklar, zihinsel çabayı düşürmüştür. Bankacılıkta, kredi değerlendirme süreçlerinin daha hızlı ve tutarlı hâle gelmesi, karar verme yükünü azaltmıştır. Sağlıkta ise, tanı süreçlerinde GenAI destekli sistemlerin hızlı ve açıklayıcı önerilerde bulunması, sağlık çalışanlarının bilişsel yükünü hafifletmiştir.

Bu bulgular, üretken yapay zekâ teknolojilerinin farklı sektörlerde, bilgi işleme ve karar verme gibi yüksek bilişsel çaba gerektiren görevlerde bireyleri destekleyerek zihinsel yükü önemli ölçüde azalttığını göstermektedir.

6. TARTIŞMA

Bu çalışma, GenAI teknolojilerinin bireylerin bilişsel süreçlerini nasıl desteklediğini anlamaya yönelik önemli katkılar sağlamaktadır. Bulgular, üretken yapay zekânın yalnızca otomasyon sağlayan bir araç değil, aynı zamanda kullanıcı dostu sistemler geliştirmeye yönelik bilişsel destek sağlayan bir teknoloji olduğunu ortaya koymaktadır.

Bilişsel yük teorisi bağlamında değerlendirildiğinde, GenAI sistemleri kullanıcıların çalışma belleği üzerindeki yükü azaltacak şekilde yapılandırılabilir. Özellikle kullanıcı arayüzlerinin tasarımı GenAI önerileri ile desteklenmiş görev yönetimi, daha verimli bilgi işleme süreçleri yaratabilir.

Bununla birlikte, GenAI'nin aşırı kullanımı ya da yanlış bilgi üretme riski gibi sınırlılıkları da göz önünde bulundurulmalıdır. Bu nedenle, bilişsel destek sunan GenAI çözümlerinin insan-merkezli tasarım ilkeleri ile geliştirilmesi ve kullanıcı güvenliği gözetilerek entegre edilmesi büyük önem taşımaktadır.

Çalışmanın bulguları, sadece bugünün uygulamaları için değil, gelecekte geliştirilecek öğrenme ortamları, sağlık destek sistemleri ve karar verme platformları açısından da yol gösterici niteliktedir.

7. SONUÇ

Bu çalışma, üretken yapay zekâ teknolojilerinin farklı alanlardaki uygulamalarını inceleyerek, bireylerin bilişsel yükünü nasıl azalttığını çok boyutlu bir bakış açısıyla ortaya koymuştur. Eğitimden sağlığa, pazarlamadan bankacılığa kadar çeşitli sektörlerde GenAI sistemlerinin bilgi işleme, karar verme ve görev yönetimi gibi bilişsel süreçlerde önemli kolaylıklar sağladığı gözlemlenmiştir.

Bulgular, bilişsel yükün yalnızca öğretim ortamlarında değil, profesyonel iş süreçlerinde de azaltılmasının bireysel verimlilik ve karar kalitesi üzerinde olumlu etkiler yarattığını göstermektedir. Bu çerçevede, üretken yapay zekâ araçlarının insan merkezli ve etik tasarım ilkeleri doğrultusunda geliştirilmesi, hem bireyler hem de kurumlar için daha sürdürülebilir ve destekleyici sistemlerin oluşturulmasına katkı sağlayacaktır.

Gelecekte yapılacak araştırmaların, üretken yapay zekâ çözümlerinin bilişsel etkilerini daha nicel ve deneysel verilerle desteklemesi, bu alandaki teorik ve pratik bilgi birikimini daha da güçlendirecektir.

KAYNAKLAR

- Chen, A., Liu, L., & Zhu, T. (2024). Advancing the democratization of generative artificial intelligence in healthcare: a narrative review. *Journal of Hospital Management and Health Policy*, 8(0). <https://doi.org/10.21037/JHMHP-24-54/COIF>
- Hsu, Y.-C., & Ching, Y.-H. (123 C.E.). *Generative Artificial Intelligence in Education, Part One: the Dynamic Frontier. I*, 603–607. <https://doi.org/10.1007/s11528-023-00863-9>
- Huang, J., Neill, L., Wittbrodt, M., Melnick, D., Klug, M., Thompson, M., Bailitz, J., Loftus, T., Malik, S., Phull, A., Weston, V., Heller, J. A., & Etemadi, M. (2023). Generative Artificial Intelligence for Chest Radiograph Interpretation in the Emergency Department. *JAMA Network Open*, 6(10), e2336100–e2336100. <https://doi.org/10.1001/JAMANETWORKOPEN.2023.36100>
- IEEE Xplore Full-Text PDF: (n.d.). Retrieved April 25, 2025, from <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=10629211>
- Khan, M. A., Asadi, H., Zhang, L., Qazani, M. R. C., Oladazimi, S., Loo, C. K., Lim, C. P., & Nahavandi, S. (2024a). Application of artificial intelligence in cognitive load analysis using functional near-infrared spectroscopy: A systematic review. *Expert Systems with Applications*, 249, 123717. <https://doi.org/10.1016/J.ESWA.2024.123717>
- Khan, M. A., Asadi, H., Zhang, L., Qazani, M. R. C., Oladazimi, S., Loo, C. K., Lim, C. P., & Nahavandi, S. (2024b). Application of artificial intelligence in cognitive load analysis using functional near-infrared spectroscopy: A systematic review. *Expert Systems with Applications*, 249, 123717. <https://doi.org/10.1016/J.ESWA.2024.123717>
- Kshetri, N., Dwivedi, Y. K., Davenport, T. H., & Panteli, N. (2024). Generative artificial intelligence in marketing: Applications, opportunities, challenges, and research agenda. *International Journal of Information Management*, 75, 102716. <https://doi.org/10.1016/J.IJINFOMGT.2023.102716>
- Law, L. (2024). Application of generative artificial intelligence (GenAI) in language teaching and learning: A scoping literature review. *Computers and Education Open*, 6, 100174. <https://doi.org/10.1016/J.CAEO.2024.100174>
- Liu, J., Wang, C., & Liu, S. (2023). Utility of ChatGPT in Clinical Practice. *Journal of Medical Internet Research*, 25(1), e48568. <https://doi.org/10.2196/48568>
- Researcher. (n.d.). *GENERATIVE AI FOR PREDICTIVE CREDIT SCORING AND LENDING DECISIONS INVESTIGATING HOW AI IS REVOLUTIONISING CREDIT RISK ASSESSMENTS AND AUTOMATING LOAN APPROVAL PROCESSES IN BANKING*. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.14357088>
- Sweller, J. (2024). Cognitive load theory and individual differences. *Learning and Individual Differences*, 110, 102423. <https://doi.org/10.1016/J.LINDIF.2024.102423>
- Vivek Kumar Mishra, Aayush Bharat Mandavia, Gaston O. Adoyo, Devdas Gupta, & Subhash Kumar Chand. (2025). The Role of Generative AI in Revolutionizing Healthcare, Education, and Finance: A Mini Review. *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology*, 165–178. <https://doi.org/10.48175/IJARSCT-23724>

GEMİ MANYETİK İZİNİ AZALTMA YÖNTEMLERİ

Burhan SAVRAN

*Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği
215102005@kocaeli.edu.tr*

Ersoy KELEBELER

*Kocaeli Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği
ersoy@kocaeli.edu.tr, ORCID: 0000-0002-9407-3926*

Özet

Gemilerin yaydığı manyetik imzanın sebepleri arasında basınç, elektrik, sismik, optik, akustik ve radar dahil olmak üzere çeşitli bileşenler vardır. Dünya manyetik alanının etkisi altında kalan gemiler üzerinde oluşan mıknatıslanma sebebiyle denizlerde meydana gelen manyetik bozulmaları azaltmak ve gemilerin manyetik mayınlardan korunması için, gemilerin manyetik izlerinin azaltılması önem arz etmektedir. Bir geminin manyetik tespiti duyarlılığının değerlendirilmesi için hem indüklenmiş hem de kalıcı manyetik alanlar üreten tüm kaynakların dikkate alınması gerekir. Askeri gemilerdeki manyetik imzaların anlaşılması ve yönetilmesi, dünya çapında deniz kuvvetlerinin karşılaştığı en önemli sorunlardan biridir. Bu çalışma, doğal manyetizma ve gemi manyetik imzalarının fiziksel kaynaklarını incelemekte; manyetik imzaların tespiti, karakterizasyonu ve azaltılmasına yönelik yöntemleri bilimsel ve teknolojik açıdan ele almaktadır. Ayrıca, farklı manyetik özelliklere sahip iki coğrafi bölgede inşa edilen gemilere ait manyetik izlerin karşılaştırmalı analizine yer verilerek, inşa yerinin gemi manyetik imzası üzerindeki etkisi değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Manyetizma, manyetikliği giderme, kangal

METHODS TO REDUCE SHIP MAGNETIC SIGNATURE

Abstract

The causes of the magnetic signature emitted by ships include various components involving pressure, electrical, seismic, optical, acoustic and radar. It is crucial to decrease the magnetic t/races of ships to mitigate magnetic disturbances in the sea because of as a result of the Earth's magnetic field and to protect ships from magnetic mines. It is necessary to taken into consideration all sources that produce both induced and permanent magnetic fields in order to assess a ship's susceptibility to magnetic detection. Comprehending and managing magnetic signatures in military vessels is one of the most crucial problems facing naval forces across the globe. This study examines the fundamental sources of natural magnetism and ship magnetic signatures from a physical and engineering perspective. It explores the methods used for the detection, characterization, and mitigation of magnetic signatures using current technological approaches. Furthermore, a comparative analysis is conducted on the magnetic signatures of ships constructed in two geographically distinct regions with different magnetic properties, aiming to evaluate the impact of construction location on a vessel's magnetic signature.

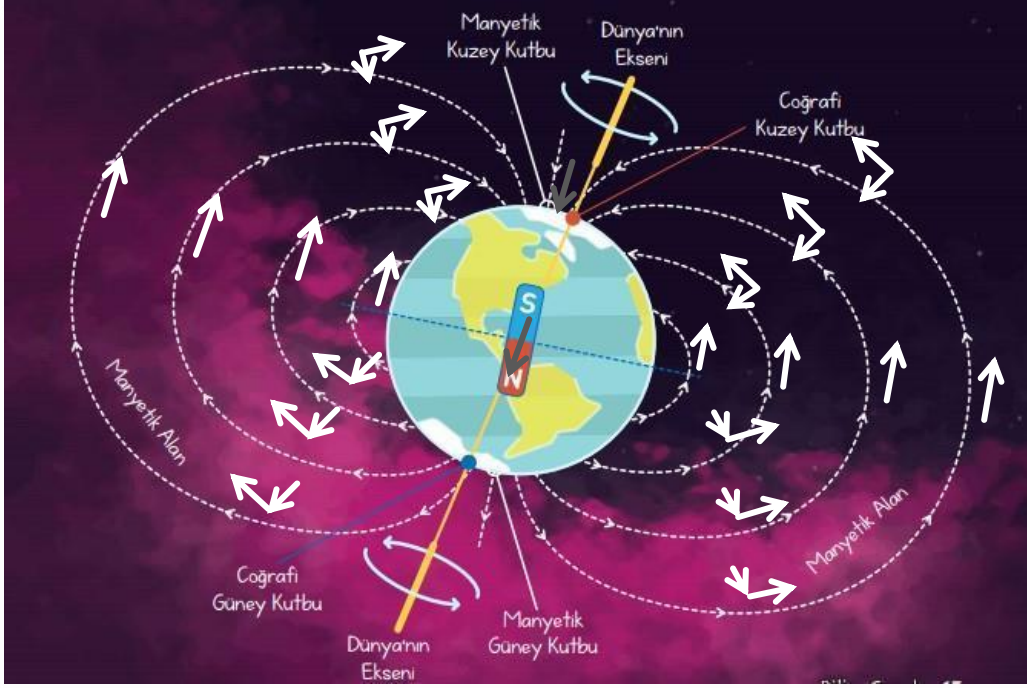
Keywords: Magnetism, degaussing, coil

1. GİRİŞ

Dünya, hayvan ve insanların günlük yaşamları üzerinde ölçülemez etkileri olan karmaşık kuvvetler üreten önemli bir manyetik alana sahiptir. Dünyanın manyetik alanı, bileşimi nedeniyle, özellikle de çekirdeği nedeniyle var olur. Çekirdek, aşırı ısıtılmış erimiş metallerden veya büyük basınç altında dalgalanan manyetik momentlere sahip düzensiz alaşımlardan oluşur. Erimiş metaller birbirleriyle elektriksel temas halinde olduklarından, aralarında bir akım akar, bir manyetik alan oluşturur ve manyetosfer oluşturur. Dünya'nın çekirdeğinin elektronik ve termal taşıma özellikleri, Dünya'nın manyetik alanı için çok önemlidir [Drchal ve ark., 2019]. Bu alan, seyir amaçlı kullanılabilen hem Kuzey

hem de Güney kutbuna sahiptir ve bunlar statik değildir. Elektrik akımındaki değişimler kutupların yılda 16 km kadar yer değiştirmesine neden olmuştur [Us Doe, 2019].

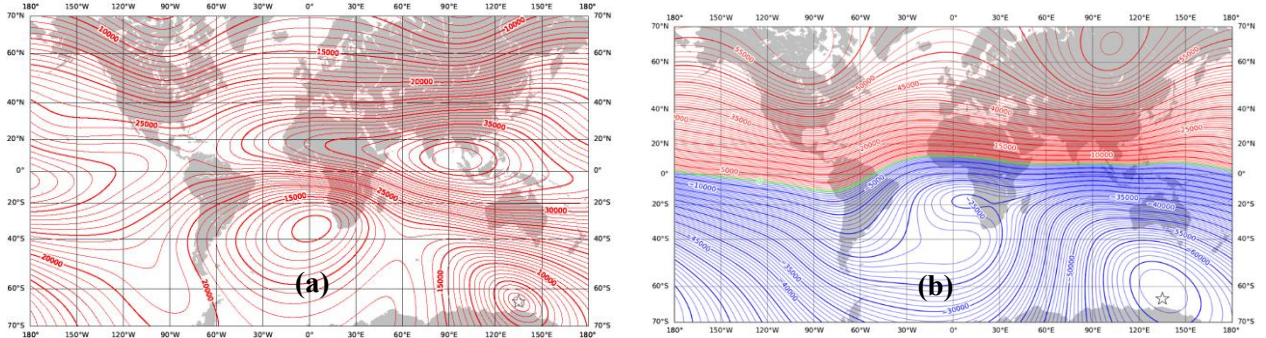
Dünyanın manyetik alanı, gezegenin çekirdeğindeki dönüş ile elektrik akımları arasındaki etkileşim tarafından üretilir. Dünya'nın manyetik alanının kolay anlaşılabilmesi için dünya merkezinde büyük bir çubuk mıknatısın bulunduğu düşünülebilir. Çubuk mıknatısın Kuzey Kutbu Güney Jeomanyetik Kutbu ve Güney Kutbu da Kuzey Jeomanyetik Kutbu olarak bilinir. Manyetik alan çizgileri Güney Jeomanyetik Kutbundan Kuzey Jeomanyetik Kutbuna doğru uzanır ve belirli ekvatorial sularda yataydan yukarıya doğru yaklaşık 0.035° 'lik bir açıyla eğimlidir [NOAA, 2014]. Dünyanın manyetik alan çizgileri Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Dünyanın manyetik alan çizgileri (yatay ve dikey bileşenler)

Arzın manyetik alanı yatay ve dikey olmak üzere iki bileşenden oluşmaktadır.

- Yatay Bileşen (Z-Vertical Field); daima pozitif (+) olup manyetik kuzeyden manyetik güneye doğrudur. Şekil 2.(a)'da görüldüğü gibi, kutuplarda sıfır değerine sahipken, manyetik ekvatorunda maksimumdur ($400\text{mG}=4000\text{nT}$). Türkiye civarında yatay bileşen 250 mG 'dir.

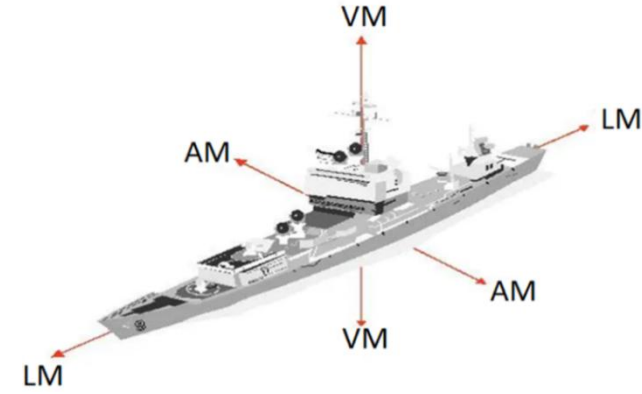


Şekil 2. Dünyanın (a) Yatay ve (b) Dikey Manyetik Yoğunluğu

- Dikey Bileşen (H-Horizontal Field); arzın içine doğru ise pozitif (+), dışına doğru ise negatif (-) değer almaktadır. Şekil 2.(b)'de görüldüğü gibi, manyetik kutuplarda maksimum $600\text{mG}=6000\text{nT}$ değerine sahipken, manyetik ekvatorunda sıfırdır. Türkiye civarında dikey bileşen 350 mG 'dir.

2. DÜNYANIN MANYETİK ALANININ GEMİLERE ETKİSİ

Gemilerin yapısında kullanılan demir ve çelik gibi manyetik özelliklere sahip metal malzemeler, Dünya'nın manyetik alanıyla etkileşime girdiğinde, geminin kendisi de manyetik özellikler kazanmaya başlar. Bu manyetik malzemeler, manyetik bir alana maruz kaldıklarında hızla manyetikleşirler, yani manyetik alanın etkisi altında, metalin içinde küçük manyetik dipoller (manyetik kutuplar) oluşturulur. Böylece manyetik indüksiyon yolu ile gemilerde manyetik alan indüklenmesi meydana gelerek gemiler manyetik özellik kazanır [Holmes, 2008]. Bunlar Şekil 3'te gösterildiği gibi dikey (VM) ve yatay (boyuna (LM) ve enine (AM)) manyetizmadır.



Şekil 3. Gemi yatay ve dikey mıknatıslanma bileşenleri

Dikey Manyetizma VM (Vertical Magnetization), dünya manyetik alanının dikey bileşeni Z, geminin bacasından omurgasına doğru dikey olarak kesmesi sonucu gemilerde dikey manyetizma (VM) oluşur. Yatay Manyetizma; dünya manyetik alanının yatay bileşeni H, boyundan boyuna (pruva-pupa) ve enine (bordadan bordaya) yatay olarak kesmesi sonucu gemilerde yatay manyetizma oluşur. Yatay manyetizma, boyuna manyetizma ve enine manyetizma olmak üzere ikiye ayrılır ve dünya'nın manyetik alanının yönü ve gücü ile geminin hangi coğrafi konumda bulunduğuyla bağlı olarak değişiklik gösterebilir.

Boyuna Manyetizma LM (Longitudinal Magnetization), boyuna manyetizma, Dünya'nın manyetik alanının yatay bileşeninin, geminin baştan kıça (pruva-pupa eksenine boyuna) etki etmesiyle oluşur.

Enine Manyetizma AM (Athwartship Magnetization), enine manyetizma, Dünya'nın manyetik alanının yatay bileşeninin geminin enine (bordadan bordaya) etkimesiyle oluşur.

3. ELEKTROMANYETİK İZLERİ AZALTMA

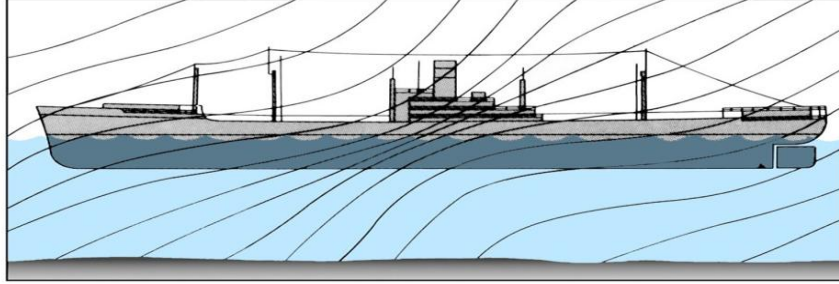
Manyetik mayınların ilk defa II. Dünya savaşında kullanıldığı, 1939'da Shoeburyness'te ele geçirilen Alman mayınıyla doğrulanmıştır [Bob Gordon, 1984]. Manyetik mayınlar, deniz tabanına yerleştirilen ve gemilerin oluşturduğu manyetik alan değişimini algılayarak patlayan cihazlardır. Yüksek patlayıcı yüklü bu mayınlar, gemilere ciddi hasar verebilecek düzeyde basınç dalgaları yaratabilmektedir.

Gemileri bu manyetik mayınlardan korumak için elektromanyetik izlerini azaltmanın yolu, ilgili kaynakları ortadan kaldırmak veya bu kaynakları istenmeyen elektromanyetik etkilerden koruyacak uygun bir sistem oluşturmaktır [Holmes, 2006]. Gemilerin elektromanyetik izlerini azaltmak veya ortadan kaldırmak ve böylece tespit edilmeyi ya da manyetik mayınlarını tetiklemeyi önlemek amacıyla tasarlanmış çeşitli teknikler bulunmaktadır. Bu bölümde, manyetik tespitten kaçınmaya yönelik temel yöntemler ele alınacaktır.

3.1. DEGAUSSİNG SİSTEMİ

Gemilerin manyetik imzası, yumuşak çelikten inşa edildikleri için ortaya çıkar. Çelik ferromanyetik bir

malzemedir ve bu nedenle yüksek geçirgenlik değeri nedeniyle manyetik akı hatlarına düşük dirençli bir yol sunar. Deniz mayınları / su altı mayınları, geminin manyetik imzasını ölçerek kıyı sularındaki deniz araçlarının tespiti için yaygın olarak kullanılır [Varma, 2014]. Gemilerin etrafında üç boyutlu ve güçlü bir manyetik alan oluşması dünyanın manyetik alanında bozulmaya neden olur. Bu durum Şekil 4'te verilmiştir. Bu bozulma, harekât alanında bulunan ve manyetik sensörler ile donatılmış mayın veya torpido silahlarının ateşleme sistemini aktif hale getirir ve bu silahların patlamasına sebep olur. Bu nedenle gemileri manyetik mayınlardan ve torpidolardan korumak için DG sistemi kullanılır.



Şekil 4. Dünya manyetik alanındaki bozulma

DG sistemi, geminin kalıcı manyetik izinin yanı sıra geçici manyetik izi de azaltmaya çalışır. Gemilerin manyetik alanını nötr hale getirmek ve azaltmak için DG sisteminde Şekil 5'da gösterildiği gibi elektrik kangalları kullanılır. Bu kangalların her biri gerekli mevkilere yerleştirilir ve uygulanan DC akım vasıtası ile gemi manyetik alanına zıt yönde ve eşit bir manyetik alan oluşturulur.

3.1.1. V Kangalı (Vertical Coil)

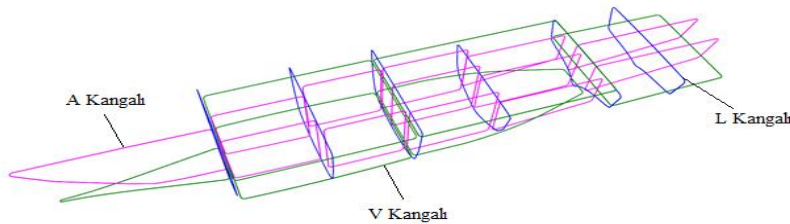
Her Geminin iç kısmına su kesimi hizasında alabandalara yapışık yatay düzlemde, baş taraftan kıç tarafa doru sarılmıştır. Kangala basılan akım şiddeti; bulunulan mevkii, yalpa ve baş-kıça bağlıdır. Rota etkilemez, Kangal akımı coğrafi kuzey yarım kürede (+) pozitif, coğrafi güney yarım kürede (-) negatif değerlerde olur, M kangalının amacı; geminin altındaki normal alan ile aynı şiddette fakat aksi yönde bir manyetik alan oluşturmaktır.

3.1.2. A Kangalı (Athwartship Coil)

Geminin iskele ve sancak taraflarına sarılım düşey düzlemdeki kangallardır. Baş taraftan kıç tarafa doğru sarılıdır. Toplam enine mıknatıslanmayı (PAM+IAM) nötralize eder. IAM bileşeni, geminin mevkii, rotası ve baş-kıç ile değiştiğinden, A kangalına basılan akımda değişir.

3.1.3. L Kangalı (Longitudinal Coil)

Geminin baş tarafından kıç tarafına kadar enine ve düşey düzlemde sıralanmıştır. Toplam boyuna mıknatıslanmayı (PLM+ILM) nötralize eder. ILM bileşeni, geminin mevkii, rotası ve baş-kıç ile değiştiğinden, L kangalına basılan akımda değişir.



Şekil 5. DG V-L-A kangalları

3.2. DEPERMING

Gemi deperming'in amacı, II. Dünya Savaşı sırasında ilk kez savaş alanlarında ortaya çıkan ve o tarihten bu yana birçok donanma ve ittifak grubu tarafından depolanan manyetik deniz mayınlarının tehdidinden korunmak için geminin kalıcı manyetizmasını azaltmaktır [Hirota 2017, Hirota 2018]. Deperming, gemiyi bir dizi bobin içine yerleştirme veya gemi etrafına bir düzenleme bobini yerleştirme işlemidir. Bu işlem Şekil 6'da gösterilmiştir. Deperming işleminde bobinler boyunca güçlü elektrik darbeleri geçirilerek geminin manyetik alanına karşı bir manyetik alan oluşturulur [Baynes, 2002]. Gemiye saran veya offshore yapıya yerleştirilen bir kablo üzerinden akım darbeleri gönderilir. Amacı, kalıcı manyetizasyonu azaltmaktır. Bu genellikle bir geminin ömrü boyunca veya büyük yapısal değişiklikler yapıldığında bir kez yapılır. Deperming başlamadan önce, gemiden tüm manyetik hassas ekipmanlar çıkarılır. Deperming işlemi özel olarak tasarlanmış bir tesiste gerçekleştirilir. İşlem, kabloların belirli bir süre ve büyüklükte yüksek bir DC akım ile enerjilendirilmesini ve ardından aynı süre ve büyüklükte ters polariteli bir DC akımın kablolar boyunca geçirilmesini gerektirir [Arantes do Amaral, 2002]. Bu işlem, süreyi ve büyüklüğü azaltarak gemi deperm edilene kadar tekrarlanır.

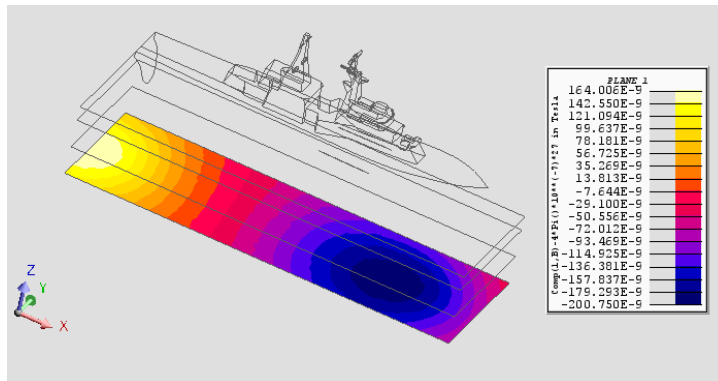


Şekil 6. Deperming istasyonu

4. MANYETİK İZİ ANALİZİ

Bu bölümde ALTAIR FLUX3D manyetik modelleme yazılımı kullanılarak Dünya'nın farklı yerlerinde inşa edilen geminin gelen manyetik izi analiz edilerek karşılaştırılacaktır. Geminin inşa edileceği konum olarak Türkiye ve Brezilya seçilmiştir. Türkiye için dünyanın manyetik alan bileşenleri $B_x = 25$ nT, $B_y = 25$ nT, $B_z = 40$ nT alınmış, Brezilya için ise $B_x = 33,084$ nT, $B_y = 33,298$ nT, $B_z = 36,165$ nT alınmıştır.

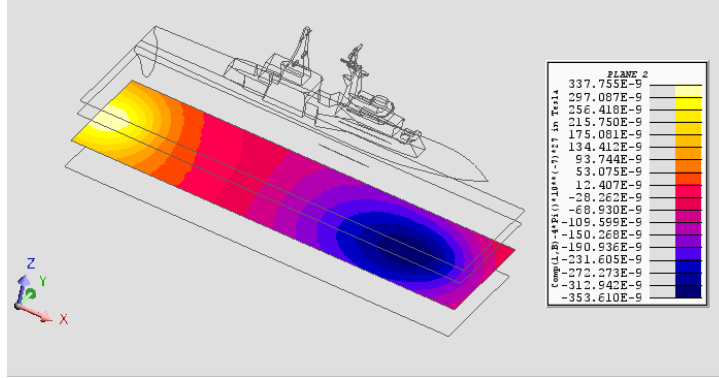
Türkiye'de inşa edilen geminin 3 eksenli ve toplam manyetik iz grafikleri;



Şekil 7. Geminin Türkiye'deki X eksenli manyetik iz grafiği

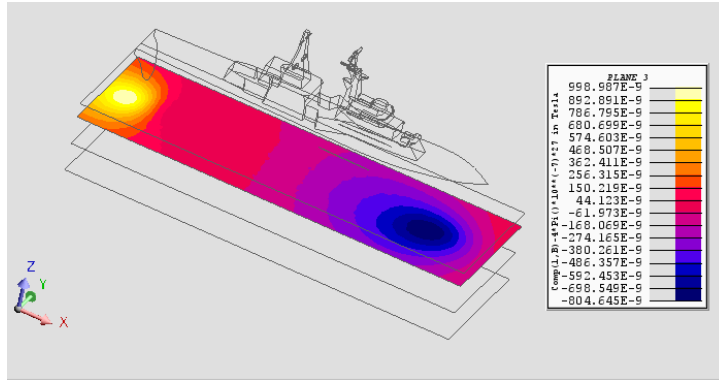
Şekil 7'de geminin Türkiye'deki X eksenli manyetik iz grafiği verilmiştir. X ekseninde geminin kıç tarafında daha yüksek pozitif alan varken, baş tarafında daha düşük negatif alan mevcuttur. Manyetik

izinin maksimum değeri, geminin kıç kısmında ~ 200 nT olarak ortaya çıkmaktadır. Şekil 8’de geminin Türkiye’deki Y eksenli manyetik iz grafiği verilmiştir.



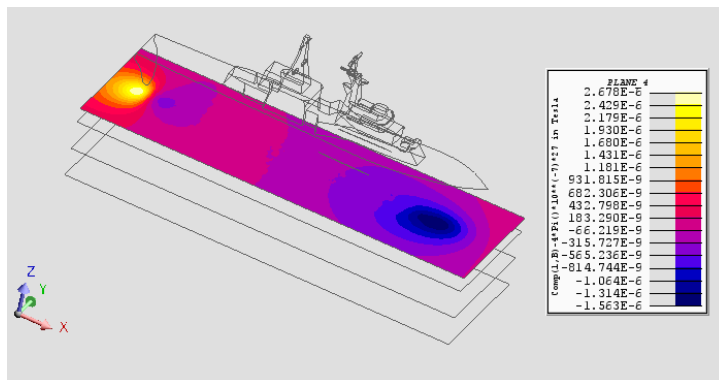
Şekil 8. Geminin Türkiye’deki Y eksenli manyetik iz grafiği

Y ekseninde, geminin sancak tarafında daha düşük (negatif) manyetik alan ~ -353 nT seviyesine kadar, iskele tarafında ise yüksek pozitif manyetik alanlar $\sim +337$ nT değerlerine kadar çıkmaktadır. Şekil 9’da ise, geminin Türkiye’deki Z eksenli manyetik iz grafiği verilmiştir.



Şekil 9. Geminin Türkiye’deki Z eksenli manyetik iz grafiği

Z ekseninde, pozitif manyetik alan $\sim +959$ nT geminin baş kısmında yukarıya doğru, negatif manyetik alan ~ -804 nT ise geminin kıç kısmında ve aşağıya doğru yayılmaktadır. Geminin Türkiye’deki toplam manyetik iz grafiği Şekil 10’de verilmiştir.

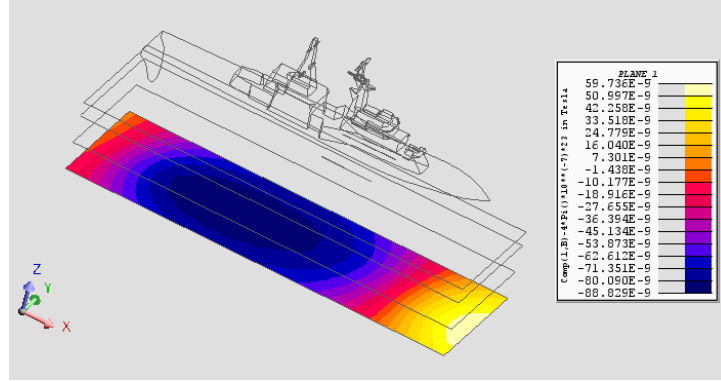


Şekil 10. Geminin Türkiye’deki toplam manyetik iz grafiği

Geminin Türkiye’deki toplam manyetik izi $\sim +2.67 \mu\text{T}$ ile $\sim -1.56 \mu\text{T}$ arasında, yani nanoTesla seviyesinin üstüne olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır. Şekilde, gemi kıç kısmında, çok güçlü pozitif

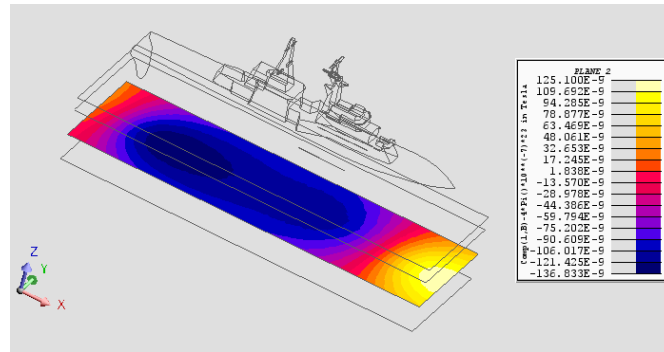
yoğunlukta bir alan oluşmuş olduğu ve baş kısmında, derin negatif yoğunluk olduğu açıkça görülmektedir.

Brezilya'da inşa edilen geminin 3 ekseninde ve toplam manyetik iz grafikleri aşağıda sunulmuştur;



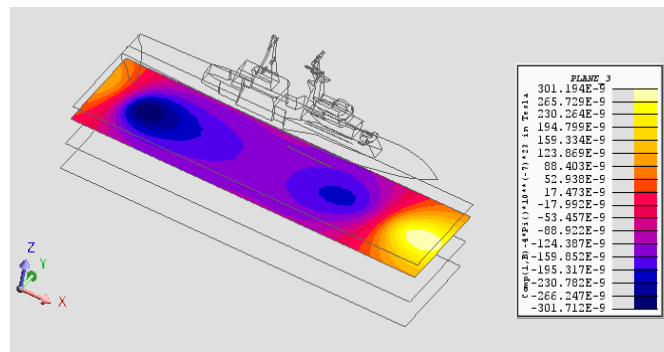
Şekil 11. Geminin Brezilya'daki X eksen manyetik iz grafiği

Şekil 11'de geminin Brezilya'daki X eksen manyetik iz grafiği verilmiştir. X ekseninde, geminin baş kısmında pozitif manyetik alan $\sim +59.7$ nT, kıç kısmında negatif manyetik alan ~ -88.8 nT'dir. Şekil 12'te geminin Brezilya'daki Y eksen manyetik iz grafiği verilmiştir.



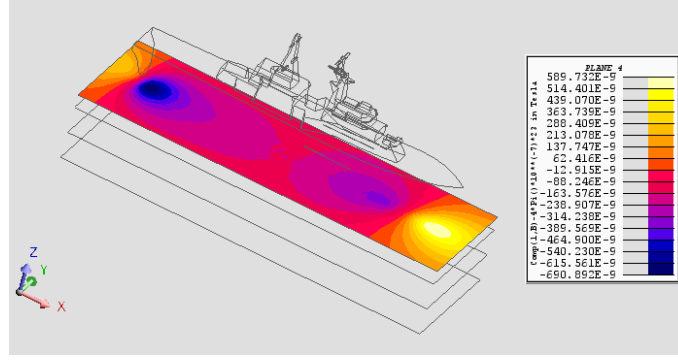
Şekil 12. Geminin Brezilya'daki Y eksen manyetik iz grafiği

Y ekseninde, geminin sancak tarafında pozitif manyetik alan $\sim +125.1$ nT iken, iskele tarafında negatif manyetik alan ~ -136.8 nT'dir. Şekil 13'te geminin Brezilya'daki Z eksen manyetik iz grafiği verilmiştir.



Şekil 13. Geminin Brezilya'daki Z eksen manyetik iz grafiği

Z ekseninde, geminin baş tarafında pozitif manyetik alan $\sim +1.14$ μ T, kıç tarafında negatif manyetik alan ~ -1.34 μ T değerini almaktadır. Dikey bileşen yüksek olduğundan, denizaltı mayınları açısından en riskli yön Z eksenidir. Şekil 14'te geminin Brezilya'daki toplam manyetik iz grafiği verilmiştir.



Şekil 14. Geminin Brezilya'daki toplam manyetik iz grafiği

Geminin toplam manyetik izine bakıldığında, toplam manyetik alan yoğunluğunu, baş kısmın sancak tarafında pozitif yüksek alan $\sim +589.7$ nT, kıç kısmın iskele tarafında negatif yüksek alan ~ -690.9 nT olduğu görülmektedir.

Türkiye ve Brezilya gibi iki farklı konumda inşa edilen özdeş boyutlu geminin manyetik izlere kıyaslandığında, II. konumun toplam manyetik izi I. konuma göre belirgin şekilde azaldığı görülmektedir. II. konumda inşa edilen geminin X eksenli manyetik iz değeri yaklaşık %60 az olurken dipol yönü değişmektedir. Ayrıca, II. konumda Y eksenli iz büyüklüğü yarıdan fazla azalmıştır. Bunun yanı sıra, ikinci konumda Z eksenli manyetik iz büyüklüğü artmıştır ve dipol yönü tersine dönmüştür. Z eksenli manyetik izi ise hâlâ baskın iz yönüdür.

Her iki konumda bir gemi için çok belirgin bir manyetik iz değerine ve mayınlar için açık bir hedef konumunadır. Bu manyetik iz seviyesi, askeri gemilerde kabul edilebilir seviyelerin üstündedir. Gemilerin inşa aşamasında bölgesel manyetik alan dağılımı farklılıklarından dolayı kalıcı olarak gemilere indüklenen bu manyetik is öncelikle Deperming yöntemi ile minimum seviyeye düşürülmelidir.

5. SONUÇLAR

Dünyanın manyetik alanının etkisi ile mıknatıslanan gemileri manyetik mayınlardan, torpidolardan korumak ve manyetik izi ortadan kaldırmak veya azaltmak için iki yöntem bulunmaktadır. Degaussing Sistemi geminin hem daimi hem de geçici mıknatıslanmasını azaltmak için kullanılırken, Deperming ise sadece kalıcı mıknatıslanmayı azaltmak için kullanılır. Degaussing sisteminin maliyeti fazla olmasından dolayı ihtiyacı olan gemilerin konseptlerine göre belirlenmelidir. Degaussing sistemi maliyetli olmakla beraber yüksek hız ve manevra kabiliyeti beklenen su üstü gemilerinde ağırlık etkisi açısından önemli bir husus olarak ön plana çıkmaktadır. Deperming işlemi sabit bir sistem ve cihazlardan oluştuğu için işletme maliyeti haricinde çok fazla bir maliyete sahip değildir.

Çalışmada, farklı konumlarda inşa edilen gemilerin, dünyanın manyetik alan bileşen değerlerinin farklı olmasından dolayı geminin manyetik izleri farklılık gösterdiği ALTAIR FLUX3D manyetik modelleme yazılımı kullanılarak ortaya konmuştur. Örnek analiz olarak Türkiye ve Brezilya'da üretilen özdeş iki geminin bölgesel manyetik değişikliklere bağlı olarak üretim sonunda sahip olacakları manyetik izler analiz programı ile elde edilmiş ve yorumlanmıştır. Sonraki çalışmalarda, analizler sonucunda elde edilen değerlere dikkate alınarak DG tasarımı yapılabilir. Uygulamada ise, tasarlanan kangallara farklı akım değerleri basılarak geminin manyetik izi ortadan kaldırılabilir ve gemi manyetik mayınlara karşı görünmez hale getirilebilir.

KAYNAKLAR

Drchal, V., Kudrnovský, J., Wagenknecht, D. & Turek, I. (2019). *Alloy Disorder and Fluctuating Magnetic Moments in The Earth's Core. J. Mag. Mag. Mat.*, **475**: 767-771.

- US DOE, US Dept of Energy. (2019). *New Analysis Suggests Earth's Magnetic Field is Destabilizing*; Available online at: <https://www.iflscience.com/environment/Earth-s-magnetic-field-about-flip/> (Last access date: Accessed 29 January 2019)
- NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) (2014). *International Geomagnetic Reference Field* Available online at: <https://www.ngdc.noaa.gov/IAGA/vmod/igrf.html> (Access Date: 7 September 2017).
- Holmes, J.J. (2008). *Reduction of a Ship's Magnetic Field Signatures*. Morgan & Claypool, US.
- Bob Gordon. *Degaussing: The demagnetisation of ships* (1984). Electronics and Power (Volume: 30, Issue: 6, June 1984)
- Holmes, J.J. (2006). *Exploitation of a Ship's Magnetic Field Signatures*. Morgan & Claypool, US.
- Varma, R. A. R. (2014). *Design of Degaussing System and Demonstration of Signature Reduction on Ship Model through Laboratory Experiments*, Physics Procedia 54, 174 – 179.
- Hirota, M. (2017). *A Study on Ship Deperming Coil System Using High Temperature Superconducting Cable Technology*, Journal of Shipping and Ocean Engineering Vol: 7, 93-99.
- Hirota, M. (2018). *A Ship Deperming Coil System Using High Temperature Superconducting Cable Technology- Refrigeration-*, Journal of Shipping and Ocean Engineering Vol: 8, 1-9.
- Baynes, T.M., Russell, G.J. and Bailey, A. (2002). *Comparison of Stepwise Demagnetization Techniques*. IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 38, No. 4, 1753-1758.
- Arantes do Amaral, J.A.A., Botelho, P.L., Ebecken, N.F.F. & Caloba, L.P. (2002). *Ship's Classification Bby Its Magnetic Signature*, 4-9 May 1998, Anchorage, Arkansas, USA

TERSİNE PLANLAMA YAKLAŞIMIYLA STOK VE ÜRETİM PLANLAMASI İÇİN MODEL ÖNERİSİ

Hüseyin Alp Erdem

Sakarya Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Bilişim Sistemleri Mühendisliği
alperdem54@gmail.com, ORCID: 0009-0001-7802-1472

Dr. Öğr. Üyesi Fatih Çallı

Sakarya Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Bilişim Sistemleri Mühendisliği
fcalli@sakarya.edu.tr, ORCID: 0000-0003-2508-3853

Özet

Günümüz üretim sistemlerinde karşılaşılan temel sorunlardan biri, talep dalgalanmaları ve kaynak kısıtları nedeniyle oluşan stok fazlası, plansız üretim ve kaynak israfıdır. Bu sorunlara çözüm üretmek amacıyla, geleneksel Make-to-Stock (MTS) ve Make-to-Order (MTO) stratejilerinin ötesine geçilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, üretim planlamasına alternatif bir bakış açısı sunan tersine planlama yaklaşımı temel alınmıştır. Tersine planlama, geleneksel yöntemlerin aksine, üretim kararlarını bütünden parçaya değil, parçadan bütüne doğru oluşturan tümevarımsal bir yaklaşımdır. Bu modelde, elde mevcut olan stoklardan yola çıkılarak üretilebilecek ürün kombinasyonları belirlenmekte; böylece dış parça temin ihtiyacı azaltılmakta ve mevcut kaynaklar azami verimle değerlendirilmektedir. Çalışmada ele alınan problem, sırt çantası probleminin (Knapsack Problem) üretim planlamasına uyarlanmış çok kriterli bir versiyonu olarak matematiksel biçimde modellenmiştir. Problem çözümünde ise Açgözlü algoritma ve Genetik algoritma tercih edilmiştir. Bu algoritmaların seçilmesinde, büyük ve karmaşık üretim senaryolarında hızlı ve uygulanabilir sonuçlar üretebilmeleri etkili olmuştur. Bu çalışma, üretim planlaması literatüründe kavramsal çerçevesi belirgin şekilde tanımlanmamış olan tersine planlama yaklaşımını, yapay zekâ tabanlı iki farklı sezgisel modelle yapılandırarak özgün bir çözüm önerisi sunmaktadır. Parçadan bütüne ilerleyen bu tümevarımsal bakış açısıyla, mevcut kaynakları merkeze alan ve klasik planlama anlayışının sınırlarını aşan alternatif bir model önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Tersine Planlama, Stok Optimizasyonu, Açgözlü Algoritma, Genetik Algoritma, Knapsack Problemi, Üretim Planlaması, Make-to-Order, Make-to-Stock

A MODEL PROPOSAL FOR INVENTORY AND PRODUCTION PLANNING BASED ON THE REVERSE PLANNING APPROACH

Abstract

One of the most pressing challenges in modern production systems is the emergence of excessive inventory, unplanned production, and resource waste, primarily driven by demand fluctuations and resource constraints. To address these issues, it is necessary to move beyond traditional Make-to-Stock (MTS) and Make-to-Order (MTO) strategies. This study adopts a reverse planning approach that offers an alternative perspective to conventional production planning methodologies. Unlike conventional top-down planning methods, reverse planning employs a bottom-up, inductive approach in which production decisions are derived from available stock components. By identifying feasible product combinations based on current inventory, this model aims to minimize external procurement needs and maximize resource efficiency. The core problem addressed in this study is mathematically formulated as a multi-criteria adaptation of the Knapsack Problem tailored for production planning. For solving the model, Greedy and Genetic Algorithms were selected due to their ability to provide fast and applicable solutions under large-scale and complex production scenarios. This study introduces an original solution framework by formulating the conceptually underdeveloped notion of reverse planning through two artificial intelligence-based heuristic models. With its inductive, bottom-up approach centered on

available resources, the proposed model challenges conventional production planning paradigms and offers a novel direction for future research in manufacturing systems.

Keywords: Reverse Planning, Inventory Optimization, Greedy Algorithm, Genetic Algorithm, Knapsack Problem, Production Planning, Make-to-Order, Make-to-Stock

1. GİRİŞ

Üretim planlama, işletmelerin kaynaklarını verimli kullanarak talebi karşılayabilmesi için geliştirilen sistematik bir karar sürecidir. Literatürde üretim planlama yaklaşımları; ürün tipine, talep yapısına, üretim kapasitesine ve çevresel faktörlere göre farklı sınıflara ayrılmıştır. Bu yaklaşımlar, teknolojik gelişmelerle birlikte daha da çeşitlenmiş ve stratejik karar alma süreçlerinin merkezine yerleşmiştir. Bu planlamanın tarihsel temelleri, 20. yüzyılın başlarında ortaya konulan bilimsel yönetim anlayışına dayanmaktadır. Taylor (1911), üretim süreçlerinde maksimum verimliliğin, her çalışanın doğal yeteneklerine uygun işe yerleştirilmesi ve sistemli bir eğitimle en yüksek performansa ulaşmasıyla mümkün olacağını savunmuştur. Üretim süreçlerinin planlanabilirliğini ilk kez gündeme getiren bu yaklaşım, modern üretim sistemlerinin öncüsü olmuş ve sonraki onlarca yıllık planlama modellerinin teorik zeminini oluşturmuştur. Günümüzde en çok bilinen üretim stratejileri arasında Make-to-Stock (MTS) ve Make-to-Order (MTO) modelleri yer almaktadır. Make-to-Stock (MTS) stratejisi, genellikle yüksek hacimli ve standart ürünlerin üretiminde kullanılan, öngörüye dayalı (push) bir üretim yaklaşımıdır. Bu strateji, önceden belirlenen talep tahminlerine göre ürünlerin büyük miktarda üretilip stoklanması temel alır (Bozarth & Handfield, 2008). Yüksek talep gören ve hızlı tüketilen ürünlerde oldukça etkilidir (Rajagopalan, 2002). Ancak, başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için doğru talep tahminleri yapılması zorunludur, aksi takdirde stok maliyetleri artabilir (Kaminsky & Kaya, 2009). Make-to-Order (MTO) ise çekme (pull) stratejisine dayalı, özelleştirilmiş ürünlerin üretiminde tercih edilen bir yaklaşımdır. Bu sistemde üretim, yalnızca müşteri siparişi geldikten sonra başlar, bu da stok maliyetlerinin azaltılmasını sağlar (Kaminsky & Kaya, 2009). MTO stratejisi, talep tahminine ihtiyaç duymadan, gerçek siparişe göre üretim yapar. Bununla birlikte, üretimin siparişten sonra başlaması nedeniyle teslim süreleri uzayabilir (Arreola-Risa & Decroix, 1998). Günümüzde artan müşteri çeşitliliği ve özelleştirme talepleri, işletmeleri geleneksel Make-to-Order (MTO) ve Make-to-Stock (MTS) üretim stratejilerinin sınırlılıklarını aşmaya ve bu iki yöntemi hibrit modellerle birleştirmeye yöneltmiştir. Adan & Van Der Wal (1998), ürünlerin belirli kısmının stoklanarak standartlaştırıldığı, kalan kısmının ise siparişe göre özelleştirildiği iki fazlı bir model geliştirerek, bu yapının üretim süresini anlamlı biçimde kısalttığını göstermiştir. Hibrit sistemlerin, satış ve operasyon planlama süreçlerine entegre edilerek stratejik karar destek mekanizmalarına katkı sunduğu da gösterilmiştir (Pereira vd., 2022). Üretim planlama alanında karar verme süreçlerinin matematiksel olarak modellenmesinde Knapsack (sırt çantası) problemi önemli bir yere sahiptir. Problem, sınırlı kapasiteye sahip bir çanta içerisine, her biri belirli bir değer (fayda) ve ağırlığa (maliyet) sahip nesnelerden hangilerinin seçileceğine karar verilmesini içerir. Amaç, her bir öğenin faydası ve ağırlığı dikkate alınarak, çantanın kapasitesini aşmadan en uygun öğe kombinasyonunu seçmektir (Horowitz & Sahni, 1974). Bu model, sınırlı kaynakların verimli kullanımını hedefleyen üretim planlama çalışmalarında etkin bir çözüm çerçevesi sunmaktadır. Knapsack probleminin farklı varyantlarının çözümünde, sezgisel algoritmalar önemli bir rol oynamaktadır. Açgözlü algoritmalar, karar verme süreçlerinde her adımda yerel olarak en iyi tercihi yaparak küresel çözüme ulaşmayı hedefledikleri için, tersine planlama gibi belirsizlik içeren üretim ortamlarında hızlı ve esnek çözümleme imkânı sunar. Vince, (2002), açgözlü algoritmaların, küresel olarak en iyi çözüme ulaşma amacıyla her adımda yerel olarak en uygun seçimi yaptığını belirtmektedir. Ancak, bu yaklaşım her zaman en iyi (optimal) çözümü garanti etmemektedir. Genetik algoritma, doğal seçilimden esinlenen bir optimizasyon algoritmasıdır. En uygun olanın hayatta kalması kavramını kullanan bir popülasyon tabanlı arama algoritmasıdır (Michalewicz, 1996).

Tersine planlama yaklaşımı, klasik üretim modellerinden farklı olarak, son üründen geriye değil; mevcut stoklardan başlayarak üretilebilecek ürünleri belirlemeye odaklanan yenilikçi bir stratejidir. Bu bakış

açısı, özellikle belirsizliklerin yoğun olduğu ve kaynakların sınırlı olduğu üretim ortamlarında, maliyet etkin ve esnek planlamalar yapılmasına olanak tanır. Make-to-Order ve Make-to-Stock sistemlerinin avantajlarını bir araya getiren hibrit yapıların ihtiyaç duyduğu esneklik, tersine planlamada doğrudan yer alan stok öncelikli karar mekanizmalarıyla desteklenmektedir. Bu yaklaşımın matematiksel modellemesi ise Knapsack problemi üzerinden yapılandırılmakta; açgözlü ve genetik algoritmalar gibi sezgisel yöntemlerle çözülerek yüksek performanslı sonuçlar elde edilmektedir. Böylece tersine planlama, sadece teorik olarak değil, uygulamada da firmalara verimlilik, esneklik ve kârlılık açısından stratejik bir avantaj sunmakta; üretim planlamasının geleceğini şekillendiren bütüncül bir karar destek çerçevesi olarak öne çıkmaktadır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Tersine planlama yaklaşımı, üretim planlama literatüründe doğrudan gelişmemiş olsa da; üretim kararlarının nihai hedeflerden geriye doğru yapılandırılması fikri, tersine lojistik süreçlerinin temel mantığıyla örtüşmektedir. Rogers ve Tibben-Lembke'nin (2001) tanımladığı biçimiyle, “değer kazanımı veya uygun bertaraf amacıyla, hammadde, yarı mamul ve mamullerin tüketim noktasından kaynağa doğru etkin ve maliyet odaklı akışının planlanması, uygulanması ve kontrolü” süreci, bu çalışmada önerilen modelin stok verilerinden üretim kararlarına yönelen ters işleyişini kavramsal olarak desteklemektedir. Bu yönüyle, tersine lojistik anlayışı, tersine planlama yaklaşımının teorik temelini şekillendiren ilham verici bir çerçeve sunmaktadır.

Tang vd. (2022), genetik algoritma ve dijital ikiz teknolojisini bir araya getirerek, talep tahmini temelli stok optimizasyonuna yönelik yenilikçi bir yaklaşım önermiştir. Ancak önerilen yapı, stoktan üretime yönelik tümevarımsal bir üretim kararı yaklaşımını içermemekte, klasik ileri yönlü planlama sistemine dayalıdır. Bu yönüyle çalışmamız, mevcut stoklardan yola çıkarak üretim kararlarının alınmasını önceleyen tersine planlama modeliyle literatürdeki benzerlerinden ayrılmaktadır.

ur Rehman vd. (2022), belirsiz tedarik zinciri ortamlarında üretim planlama ve kontrol (MPC) faaliyetlerinin, hem önleyici hem de tepkisel risk yönetimi stratejilerinin gelişimini tetikleyerek firmaların operasyonel performansını artırdığını ortaya koymuştur. Bu yönüyle çalışmamızda kullanılan tersine planlama temelli, veri dinamiklerine duyarlı model yapısı bu yaklaşımla örtüşmektedir.

Hirano vd. (2009), üretim sistemlerinde serbest bırakma zamanlarını optimize etmek amacıyla ileri ve geri yönlü simülasyonları genetik algoritmalarla birleştiren entegre bir yaklaşım sunmuştur. Bu yapı, belirsizlik ortamında kaynak kullanım etkinliğini ve zamanlama doğruluğunu artırmayı hedeflemekte olup, modelimizin zamanlama hassasiyetiyle örtüşmekle birlikte, yaklaşımın yönü ve algoritmik kurgusu açısından farklılık göstermektedir.

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Problem Tanımı ve Modelleme Yaklaşımı

Küreselleşen pazar yapısı, artan ürün çeşitliliği ve müşteri taleplerindeki öngörülemez değişkenlik, üretim sistemlerini giderek daha karmaşık ve dinamik bir yapıya sürüklemektedir. Özellikle belirsiz talepler, sınırlı kaynaklar ve değişken tedarik süreleri gibi faktörler, klasik üretim planlama stratejilerinin yetersiz kalmasına neden olmaktadır. Bu bağlamda, sadece talebe odaklanan ileriye dönük planlama yaklaşımları (örneğin geleneksel Make-to-Stock veya Make-to-Order sistemleri), ya yüksek stok maliyetlerine ya da müşteri taleplerinin zamanında karşılanamamasına yol açabilmektedir.

Bu çalışmada, üretim kararlarının mevcut kaynaklara ve stok seviyelerine dayalı olarak şekillendiği tersine planlama yaklaşımı benimsenmiştir. Tersine planlama, mevcut envanterin ve kapasitenin optimize biçimde değerlendirilmesiyle başlayarak, hangi ürünlerin ne kadar üretileceği kararını geriye dönük bir mantıkla verir. Bu yöntem, belirsizliğin hâkim olduğu üretim ortamlarında kaynak israfını

minimize etmek, tedarik risklerini azaltmak ve üretimden elde edilecek toplam stratejik katkıyı maksimize etmek amacıyla etkili bir araç olarak kullanılmaktadır.

Önerilen modelde temel amaç, eldeki mevcut stoklara ve sınırlı üretim kapasitesine göre:

- Dış tedarik ihtiyacını mümkün olduğunca azaltmak,
- Ürün ağaçlarına (BOM) bağlı parça gereksinimlerini dikkate almak,
- Minimum kaynak tüketimiyle maksimum kazancı elde edecek üretim kombinasyonlarını belirlemek şeklinde özetlenebilir.

Bu doğrultuda geliştirilen matematiksel model, klasik Knapsack (sırt çantası) problemine dayanmaktadır. Ancak bu model:

- Gerçek üretim ortamındaki çok kriterli karar değişkenlerini içermesi,
- Ürünlerin üretim maliyetleri, katkı değerleri ve parça bağlılıkları gibi çoklu faktörleri barındırması,
- Tersine planlama mantığıyla işletme içi kaynakları önceleme bakımından klasik yapıdan ayrılmakta ve özgün bir hale gelmektedir.

Modelin temel yapısı aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{Maksimize } \sum_{j=1}^n p_j x_j \quad (1)$$

Kısıt:

$$\sum_{j=1}^n w_j x_j \leq c \quad (2)$$

Karar Değişkeni:

$$x_j \in \{0,1\}, \quad j = 1 \dots n, \quad (3)$$

Burada x_j , j'nci ürünün üretime alınıp alınmadığını; p_j , ürünün stratejik değerini (kâr, kullanım önceliği vb.); w_j , üretim için gereken kaynak miktarını ve c , toplam üretim kapasitesini göstermektedir. Pisinger (2005), yapısal olarak oldukça karmaşık bir problem tanımlamasına karşın, bazı örneklerin sezgisel algoritmalarla görece kolay biçimde çözülebilmesinin, bu tür yaklaşımların pratikteki etkinliğine dair önemli bir gösterge olduğunu vurgulamaktadır.

Modelin bu haliyle, işletmelerin envanterini sadece pasif bir veri noktası olarak değil, stratejik bir üretim girdisi olarak değerlendirmesine olanak tanıyan yeni bir karar destek yaklaşımı sunduğu düşünülmektedir. Aynı zamanda maliyet-kâr-optimal stok üçgeninde karar vermeyi kolaylaştıran bu model, özellikle kısıtlı kaynakla çalışan işletmeler için yüksek değerli bir araç olabilir.

3.2. Veri Kaynağı ve Problem Kümesi

Bu çalışmada geliştirilen üretim planlama modeli, kuramsal değil, gerçek bir üretim ortamına dayalı olarak kurgulanmıştır. Modelin doğruluğu ve uygulanabilirliğini artırmak amacıyla, veriler doğrudan sahadan, aktif olarak faaliyet gösteren bir üretim tesisinden temin edilmiştir.

Veri seti aşağıdaki unsurları kapsamaktadır:

- Mevcut Stok Verileri: Tüm yarı mamul ve hammadde seviyeleri, malzeme kodları bazında envanter sisteminden alınmıştır.
- Ürün Ağaçları (Bill of Materials): Nihai ürünlerin üretilebilmesi için gereken bileşenler ve bu bileşenlerin birbirleriyle olan hiyerarşik ilişkileri detaylı olarak modellenmiştir.

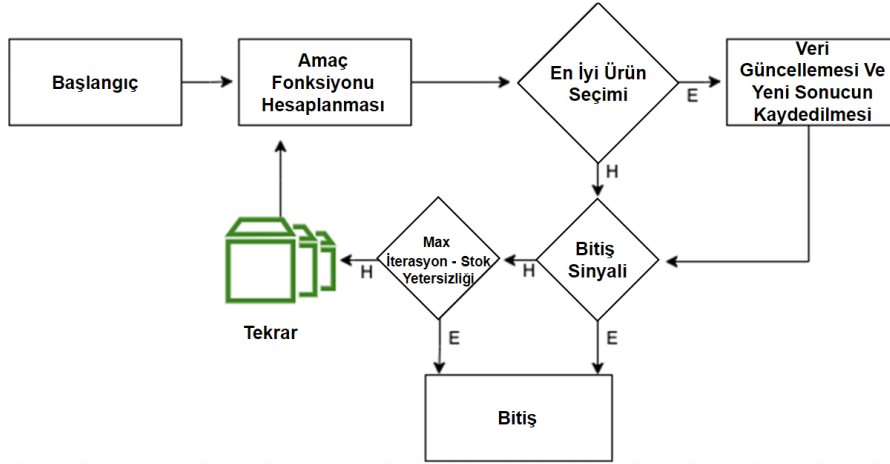
- Birim Ürün Katkı Değerleri: Her bir nihai ürünün satış sonrası işletmeye sağlayacağı stratejik katkı puanı, ürün başı kâr oranları ve talep yoğunluğu gibi kriterlerle normalize edilmiştir.
- Parça Maliyetleri: Her bir parçanın üretim veya satın alma maliyetleri; üretim planlamasında dış tedarik ihtiyacının optimize edilmesi için kullanılmıştır.
- Üretim Kapasitesi: Mevcut kaynakların (makine zamanı, iş gücü kapasitesi veya bütçe gibi) sınırlı olması nedeniyle belirli bir kapasite kısıtı tanımlanmıştır.

Bu veriler doğrultusunda oluşturulan problem kümesi, çok sayıda nihai ürün ve bu ürünlere ait alternatif üretim kombinasyonlarını içermektedir. Her bir ürünün üretilip üretilmeyeceği kararı, hem mevcut stoklara hem de toplam üretim kapasitesine bağlı olarak alınmaktadır. Tüm kombinasyonlar içerisinde, işletmeye en yüksek stratejik katkıyı sağlayacak alternatiflerin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Problemin yapısı, 0-1 Knapsack probleminin üretim planlamasına özgü bir genişlemesi olarak modellenmiştir. Bu nedenle problem kümesi, seçimli ve kısıtlı kaynak ortamında karar verme sürecini yansıtan, sezgisel algoritmalarla çözülmeye uygun bir yapıya sahiptir. Ürün sayısı, parça çeşitliliği ve stok dağılımı dikkate alındığında, model yüksek boyutlu ve çok kriterli bir karar alanına sahiptir.

3.3. Çözüm Yöntemleri ve Yaklaşımlar

Bu çalışmada ele alınan üretim planlama problemi, çok kriterli ve kısıtlı kaynak yapısına sahip yapısıyla klasik optimizasyon teknikleriyle çözülmesi oldukça güçleşen bir kombinatoriyel karar problemi oluşturmaktadır. Üretim sürecinin farklı düzeylerde bağımlılıklar içermesi, stok kısıtları ve üretim kapasitesi sınırlamaları gibi faktörler dikkate alındığında, bu tür problemler için daha esnek ve uygulama odaklı yöntemler gerekmektedir. Bu çerçevede, sezgisel ve meta-sezgisel algoritmalar tercih edilmiştir. Modelin çalışma prensibi Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1: Algoritma Çalışma Prensibi

3.3.1. Tersine Planlama Tabanlı Yaklaşım

Bu modelde, klasik ileri planlama yaklaşımından farklı olarak, üretim süreci eldeki mevcut stoklardan başlanarak planlanmaktadır. Bu yaklaşımla, envanter verileri temel alınarak hangi ürünlerin üretilebileceği belirlenmekte, ardından bu üretim alternatifleri içinden en yüksek faydayı sağlayacak üretim kombinasyonları hesaplanmaktadır. Böylece, işletme mevcut kaynaklarını daha verimli kullanmakta ve dış tedarik ihtiyacı mümkün olduğunca azaltılmaktadır.

Tersine planlama, özellikle belirsizliklerle dolu üretim ortamlarında maliyet etkinliği ve kaynak kullanımını optimize etmeye olanak tanıyan stratejik bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışmada, bu yöntemin uygulanabilirliği değerlendirilmektedir.

3.3.2. Yapay Zeka Tabanlı Yaklaşımlar ve Genetik Algoritmaların Kullanımı

Geleneksel üretim planlama yöntemleri, belirli varsayımlara dayalı deterministik modellerle çözülürken; günümüzde artan belirsizlik, karmaşıklık ve çoklu kriterler karşısında yapay zeka (YZ) tabanlı yöntemlere olan ilgi giderek artmaktadır. Özellikle yapay sinir ağları (ANN), bulanık mantık sistemleri, genetik algoritmalar (GA), parçacık sürü optimizasyonu (PSO) ve tabu arama gibi sezgisel ve meta-sezgisel yöntemler; üretim, stok yönetimi ve çizelgeleme gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu algoritmalar, klasik yöntemlerin çözmekte zorlandığı büyük, belirsiz veya kısıtlı problem uzaylarında yakınsak ve uygulanabilir çözümler sunmaları nedeniyle tercih edilmektedir.

Bu bağlamda, Daniel ve Rajendran (2005), seri yapıdaki bir tedarik zincirinin toplam stok maliyetini minimize etmek amacıyla geliştirdikleri simülasyon tabanlı genetik algoritma yaklaşımı ile, meta-sezgisel yöntemlerin üretim planlama ve stok optimizasyonunda ne derece etkili olabileceğini ortaya koymuştur. Popülasyon tabanlı yapısı ve güçlü global arama yetenekleri sayesinde genetik algoritmalar, çizelgeleme, stok yönetimi ve üretim planlaması gibi çok boyutlu optimizasyon problemlerinde etkili çözüm yaklaşımları sunmaktadır (Katoch vd., 2021).

3.3.3. Açgözlü (Greedy) Algoritma

Vince (2002), tarafından tanımlandığı üzere, Açgözlü algoritma her adımda yerel olarak en iyi tercihi yaparak ilerler ve bu seçimler küresel optimuma ulaşma amacı taşır. Üretim planlama bağlamında, bu algoritma hızlı sonuç üreten yapısıyla öne çıkmakta; her adımda üretim kapasitesini aşmayacak şekilde en yüksek katkıyı sağlayan ürünü seçerek uygun kombinasyonlar oluşturmaktadır.

Hesaplama yükü düşük olan bu yöntemin, özellikle küçük veri kümelerinde pratik çözümler sunduğu gözlemlenmektedir. Ancak, tüm çözüm uzayını taramadığı için küresel optimuma ulaşma garantisi bulunmamaktadır. Bu yönüyle algoritmanın etkinliği, daha geniş örnek setleriyle yapılacak testler doğrultusunda ilerleyen aşamalarda değerlendirilecektir.

3.3.4. Genetik Algoritma

İkinci olarak uygulanan Genetik Algoritma, daha karmaşık problem yapıları için uygun olan, nüfus tabanlı bir meta-sezgisel yöntemdir. Genetik algoritma (GA), doğal seçim ilkesinden esinlenen, en uygun olanın hayatta kalması kavramına dayalı, popülasyon tabanlı bir arama ve optimizasyon algoritmasıdır (Michalewicz, 1996).

Bu yöntemin, çözüm uzayının daha geniş bir bölümünü tarayarak daha kaliteli ve uygulanabilir sonuçlara ulaşma potansiyeli bulunmaktadır. Ancak bu potansiyelin ne ölçüde gerçekleştiği, ilerleyen analiz aşamalarında kapsamlı olarak değerlendirilecektir.

3.3.5. Karşılaştırmalı Değerlendirme Yaklaşımı

Açgözlü ve Genetik algoritmalar farklı senaryolarda uygulanarak karşılaştırmalı bir değerlendirmeye tabi tutulacaktır. Bu analiz süreci, hangi yaklaşımın hangi durumlarda daha avantajlı olabileceğini ortaya koymak açısından önem taşımaktadır. Uygulama sonuçları henüz bütün yönleriyle değerlendirilmemiş olmakla birlikte, seçilen algoritmaların performansları ilerleyen aşamalarda detaylı şekilde analiz edilecektir.

4. SONUÇ

Bu çalışma kapsamında, üretim planlamasında karşılaşılan stok odaklı belirsizliklerin çözümüne yönelik olarak, tersine planlama yaklaşımına dayalı özgün bir model önerilmiştir. Geliştirilen model, klasik ileri yönlü planlama yerine mevcut stok seviyelerini ve ürün ağaçlarını temel alarak üretim kombinasyonlarını belirlemeyi amaçlamaktadır. Bu yaklaşım, kaynak kullanım verimliliğini artırmakta, dış tedarik ihtiyacını minimize etmekte ve işletme kârlılığını maksimize etme yönünde stratejik avantajlar sunmaktadır.

Model, üretim ortamındaki karmaşık kısıtları dikkate alarak Knapsack probleminin çok kriterli ve özel bir versiyonu olarak yapılandırılmıştır. Bu yönüyle, hem matematiksel hem de uygulama düzeyinde özgün bir katkı sunmaktadır. Seçilen algoritmalar (Açgözlü ve Genetik Algoritmalar), bu özel modelin farklı senaryolar altındaki uygulanabilirliğini test etmeye olanak sağlamaktadır.

Henüz tamamlanmamış olan geliştirilmiş matematiksel modeller ve analiz süreci, önerilen modelin performansını farklı çözüm yöntemleriyle karşılaştırmalı olarak ortaya koymayı amaçlamaktadır. Bu sayede, belirli üretim sistemleri ve işletme yapıları için hangi yaklaşımın daha uygun olabileceği konusunda yol gösterici bulgular elde edilmesi hedeflenmektedir. Gelecek çalışmalarda, daha büyük veri kümeleri, çok amaçlı optimizasyon senaryoları ve melez algoritmalarla modelin geliştirilmesi planlanmaktadır.

Bu çalışma, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilişim Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yürütülmekte olan "Üretim Sistemlerinde Stok Optimizasyonu: Tersine Planlama Yaklaşımı ve Yapay Zeka Tabanlı Optimizasyon Algoritmalarının Kullanımı" başlıklı yüksek lisans tezi kapsamında hazırlanmıştır.

5. TARTIŞMA

Bu çalışma, üretim planlamasında geleneksel ileri yönlü yaklaşımlar yerine mevcut stokları planlamanın çıkış noktası olarak alan tersine planlama anlayışını önermektedir. Bu yaklaşım, yalnızca kaynak kullanımını optimize etmekle kalmaz; aynı zamanda belirsiz ve değişken piyasa koşullarında daha esnek ve gerçekçi karar yapılarını destekler.

Model, talep odaklı değil, eldeki olanaklara göre şekillenen kararlar sunarak maliyet etkinliği ile operasyonel uygulanabilirliği bir arada değerlendirmeyi mümkün kılar. Bu yönüyle yalnızca matematiksel bir çözüm önerisi değil, aynı zamanda stratejik bir planlama davranışı sunmaktadır.

Kullanılan sezgisel algoritmalar, çözüm kalitesi, esneklik ve uygulama kolaylığı açısından karar vericilere pratik avantajlar sağlamıştır. Bu da önerilen modelin akademik sınırları aşarak saha uygulamalarına entegre edilebilir olduğunu göstermektedir.

Gelecek çalışmalarda modelin sektörel bazda genişletilmesi, farklı kısıtlar ve dijital teknolojilerle bütünleştirilmesi önerilmektedir.

KAYNAKÇA

- Adan, I. J. B. F., & Van Der Wal, J. (1998). Combining make to order and make to stock. *OR Spectrum*, 20(2). <https://doi.org/10.1007/BF01539854>
- Arreola-Risa, A., & Decroix, G. A. (1998). Make-to-order versus make-to-stock in a production—inventory system with general production times. *IIE Transactions (Institute of Industrial Engineers)*, 30(8). <https://doi.org/10.1080/07408179808966516>
- Bozarth, C. C., & Handfield, R. B. (2008). Introduction To Operations and Supply Chain Management. İçinde *Pearson Education International*.
- Daniel, J. S. R., & Rajendran, C. (2005). A simulation-based genetic algorithm for inventory optimization in a serial supply chain. *International Transactions in Operational Research*, 12(1). <https://doi.org/10.1111/j.1475-3995.2005.00492.x>
- Hirano, S., Kobayashi, S., & Eguchi, T. (2009). Integrated production planning and scheduling using backward/forward scheduling simulation. *ICCAS-SICE 2009 - ICROS-SICE International Joint Conference 2009, Proceedings*.
- Horowitz, E., & Sahni, S. (1974). Computing Partitions with Applications to the Knapsack Problem. *Journal of the ACM (JACM)*, 21(2). <https://doi.org/10.1145/321812.321823>
- Kaminsky, P., & Kaya, O. (2009). Combined make-to-order/make-to-stock supply chains. *IIE Transactions (Institute of Industrial Engineers)*, 41(2). <https://doi.org/10.1080/07408170801975065>

- Katoch, S., Chauhan, S. S., & Kumar, V. (2021). A review on genetic algorithm: past, present, and future. *Multimedia Tools and Applications*, 80(5). <https://doi.org/10.1007/s11042-020-10139-6>
- Michalewicz, Z. (1996). Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs. İçinde *Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs*. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-03315-9>
- Pereira, D. F., Oliveira, J. F., & Carravilla, M. A. (2022). Merging make-to-stock/make-to-order decisions into sales and operations planning: A multi-objective approach. *Omega (United Kingdom)*, 107. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2021.102561>
- Pisinger, D. (2005). Where are the hard knapsack problems? *Computers and Operations Research*, 32(9). <https://doi.org/10.1016/j.cor.2004.03.002>
- Rajagopalan, S. (2002). Make to order or make to stock: Model and application. *Management Science*, 48(2). <https://doi.org/10.1287/mnsc.48.2.241.255>
- Rogers, D. S., & Tibben-Lembke, R. (2001). AN EXAMINATION OF REVERSE LOGISTICS PRACTICES. *Journal of Business Logistics*, 22(2). <https://doi.org/10.1002/j.2158-1592.2001.tb00007.x>
- Tang, Y.-M.; Ho, G.T.S.; Lau, Y.-Y.; Tsui, S.-Y. (2022). Integrated Smart Warehouse and Manufacturing Management with Demand Forecasting in Small-Scale Cyclical Industries. *Machines* 2022, 10, 472. <https://doi.org/10.3390/machines10060472>
- Taylor, F. W. (1911). The Principles of Scientific Management (Bölüm 1, ss. 9–29). New York: Harper & Brothers
- ur Rehman, A., Shakeel Sadiq Jajja, M., & Farooq, S. (2022). Manufacturing planning and control driven supply chain risk management: A dynamic capability perspective. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 167. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2022.102933>
- Vince, A. (2002). A framework for the greedy algorithm. *Discrete Applied Mathematics*, 121(1-3). [https://doi.org/10.1016/S0166-218X\(01\)00362-6](https://doi.org/10.1016/S0166-218X(01)00362-6)

YAPAY ZEKADA ÖNYARGI VE AYRIMCILIK

Melike Çeken

Sakarya Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Bilişim Sistemleri Mühendisliği
melike.ceken2@ogr.sakarya.edu.tr, ORCID: 0009-0009-3325-0034

Özet

Yapay zeka sistemlerinin karar alma süreçlerinde artan kullanımı, bu teknolojilerin adalet, tarafsızlık ve etik ilkelere uygun şekilde tasarlanmasını zorunlu kılmaktadır. Ancak mevcut uygulamalar, algoritmik kararların toplumsal önyargı ve ayrımcılık biçimlerini yeniden üretebildiğini ortaya koymaktadır. Bu çalışmada, yapay zeka sistemlerinde önyargı ve ayrımcılığın ortaya çıkış biçimleri analiz edilmiş; veri setlerindeki dengesizlikler, modelleme sürecindeki varsayımlar ve sistem tasarımındaki etik boşluklar ayrıntılı biçimde incelenmiştir. Ayrımcılığın doğrudan, dolaylı ve sistematik türleri örnek vakalarla birlikte değerlendirilmiş, bu sorunlara karşı toplumsal ve akademik farkındalık oluşturulması amaçlanmıştır. Ayrıca, yapay zeka sistemlerinin daha adil, kapsayıcı ve hesap verebilir hale gelmesi için şeffaflık, açıklanabilirlik, çok paydaşlı katılım ve etik denetim mekanizmaları gibi tasarım ilkeleri tartışılmıştır. Çalışma, yapay zekada önyargı ve ayrımcılığın yalnızca teknik değil, aynı zamanda sosyal ve etik bir mesele olduğunu vurgulamakta; çözümün çok disiplinli bir yaklaşım gerektirdiğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yapay zeka, önyargı, ayrımcılık, etik, karar destek sistemleri

BIAS AND DISCRIMINATION IN ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Abstract

The increasing use of artificial intelligence (AI) systems in decision-making processes necessitates their development in accordance with principles of justice, impartiality, and ethical responsibility. However, current applications reveal that algorithmic decisions can reproduce various forms of social bias and discrimination. This study analyzes how bias and discrimination emerge in AI systems by examining imbalances in datasets, assumptions in modeling processes, and ethical gaps in system design. Different types of discrimination—such as direct, indirect, and systemic—are discussed through case studies, aiming to raise both societal and academic awareness. Furthermore, the study explores design principles such as transparency, explainability, multi-stakeholder participation, and ethical oversight as key components for making AI systems more fair, inclusive, and accountable. It emphasizes that bias and discrimination in AI are not only technical issues but also social and ethical concerns, and it argues that addressing them requires a multidisciplinary approach.

Keywords: Artificial intelligence, bias, discrimination, ethics, decision support systems

1. GİRİŞ: YAPAY ZEKADA ÖNYARGI

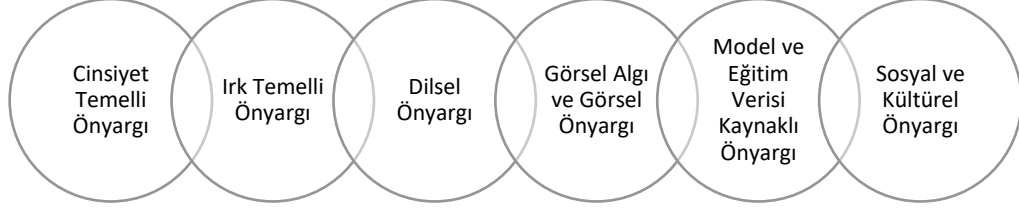
Yapay zeka çağımızın en büyük kullanım araçlarından biridir. Veriye dayalı karar verme süreçlerini hızlandıran ve otomatikleştiren teknolojik sistemleri ifade eder. Ancak bu sistemlerin objektif olduğu varsayımı tam anlamıyla doğru olmayabilir. Veri ve algoritmalarda bulunan önyargılar yapay zekanın yeterince objektif olup olmadığı konusunda sansasyonlar yaratmıştır. Önyargı, yapay zekanın yalnızca teknik değil aynı zamanda toplumsal bir olgu olduğunu gösterir.

1.1. Önyargının Kaynağı: Veri ve İnsan Etkileşimi

Çoğu yapay zeka sistemi ve algoritması, işleyişini sürdürebilmek ve öğrenme sürecini gerçekleştirebilmek için verilere dayanmaktadır. Bu nedenle, algoritmaların performansı ve verdikleri kararların doğruluğu, doğrudan kullanılan veri setlerinin niteliğiyle yakından ilişkilidir. Ancak eğitim verilerinin önyargılar içermesi durumunda, bu önyargılar algoritmalara da taşınmakta ve bu sistemler tarafından içselleştirilerek üretilen çıktılara yansıtılmaktadır. Sonuç olarak, önyargılı verilerle eğitilen yapay zeka sistemleri, hem geçmişteki adaletsizlikleri yeniden üretme hem de yeni adaletsizlikler yaratma potansiyeline sahiptir (Mehrabi ve ark., 2021). Örneğin, görüntü veri setlerinde belirli demografik grupların —özellikle koyu tenli bireylerin— yetersiz temsil edilmesi, yüz tanıma

sistemlerinin bu gruplar üzerindeki doğruluğunu önemli ölçüde düşürmektedir. Benzer şekilde, algoritmik öngörüye dayalı polislik sistemlerinde kullanılan veriler, geçmişte ırksal önyargılarla şekillenmiş kolluk kuvvetleri uygulamalarının bir ürünü olarak sistemli biçimde önyargılı içerikler barındırmakta; bu durum da önyargının sistemin karar mantığına doğrudan entegre olmasına yol açmaktadır.

2. VAKA İNCELEMELERİ



Şekil 7: Önyargı Çeşitleri

2.1. Cinsiyet ve Irk Temelli Önyargılar: Yüz Tanıma ve Özgeçmiş Değerlendirme Sistemleri

Yapay zeka sistemlerinin toplumsal alanda yaygınlaşması, bu teknolojilerin tarafsızlığına dair varsayımları sorgulatmakta ve özellikle cinsiyet ile ırk temelli önyargıların ne ölçüde algoritmalara yansıdığı sorusunu gündeme getirmektedir. Buolamwini ve Gebru'nun (2018) yürüttüğü çarpıcı araştırmada, ticari cinsiyet sınıflandırma sistemlerinin açık tenli erkek yüzlerinde yüksek doğruluk oranlarına ulaşırken, koyu tenli kadınlarda hata oranlarının %34.7'ye kadar çıktığı gözlemlenmiştir. Eğitim verilerindeki temsil dengesizliklerinin bu farklılıklarda belirleyici olduğu ortaya konmuş ve koyu tenli kadınların sistematik olarak daha fazla sınıflama hatasına maruz kaldığı vurgulanmıştır. Benzer şekilde, Amazon'un işe alım süreçlerini otomatikleştirmek amacıyla geliştirdiği yapay zeka tabanlı özgeçmiş değerlendirme sistemi, büyük ölçüde erkek çalışanlara ait verilerle eğitildiği için, kadınlara özgü anahtar kelimeler içeren başvuruları olumsuz değerlendirmiştir (Dastin, 2018). Sistem, "kadın mühendislik kulübü" gibi ifadeleri düşük puanlamış ve bu önyargıyı düzeltmeye yönelik çabalar sonuçsuz kalınca 2017'de proje sonlandırılmıştır.

2.2. Yapay Zeka ve Irksal-Dilsel Önyargılar: Dil Modelleri ve Diyalekt Ayrımcılığı

Hofmann ve arkadaşları (2024), dil modellerinin konuşulan diyalekten yola çıkarak ırksal önyargılar üretebildiğini göstermiştir. Afrika Kökenli Amerikalı İngilizcesi ile yazılmış ifadelerin daha düşük prestijli mesleklerle, daha düşük IQ ile ve hukuki bağlamda daha yüksek suçluluk oranlarıyla ilişkilendirilmesi, bu modellerin örtük ve sistematik ayrımcılık barındırabildiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, model boyutunun artırılması veya insan geri bildirimiyle eğitim gibi yaygın tekniklerin bu gizli önyargıları ortadan kaldırmada yetersiz kaldığı saptanmıştır. Bir başka araştırma, GPT-3 modelinde sistematik olarak gözlemlenen anti-Müslüman önyargı, çeşitli deneysel yaklaşımlarla nicel ve nitel olarak belgelenmiştir. Araştırmacılar, nötr başlangıç cümleleriyle yapılan prompt tamamlama deneylerinde, Müslümanlara yönelik tamamlamaların büyük oranda şiddet içerdiğini; analogi temelli akıl yürütme testlerinde "Muslim" kelimesinin yüksek oranda "terrorist" gibi önyargılı ifadelerle eşleştirildiğini; uzun biçimli hikâye üretiminde ise Müslüman kimliğine dair görsel girdilerin şiddet temalı anlatılarla sonuçlandığını ortaya koymuştur (Abid ve ark., 2021).

2.3. Görsel Algı Sistemlerinde Önyargı: Resim Kırpma ve Görsel Odağın Dağılımı

Yee ve arkadaşlarının (2021) çalışması, Twitter'ın otomatik resim kırpma algoritmasındaki ırk ve cinsiyete dayalı önyargıyı nicel analizlerle ortaya koyan bir vaka incelemesidir. Farklı demografik gruplardan kişilerin yer aldığı binlerce görsel çifti üzerinde yürütülen deneylerde, modelin beyaz bireyler ve özellikle kadınlar lehine sistematik bir kayırmacılık sergilediği rapor edilmiştir; örneğin, beyaz kadınların siyahi erkeklere kıyasla %63,5 oranında daha sık kırpma odağı olduğu bildirilmiştir. Ayrıca, sistemin cinsiyet temelli "erkek bakışı" önyargısı taşıyıp taşımadığı incelenmiş; kırpmaların genellikle forma numarası gibi dikkat çekici görsel unsurlara yönelmesi nedeniyle, doğrudan cinsiyet temelli bir örüntüye sistematik biçimde rastlanmamıştır. Bunun yanında, modelin yalnızca en yüksek

olasılıklı bölgeyi seçmesi (argmax) gibi yapısal karar mekanizmalarının da bu orantısız etkiye katkıda bulunduğu gösterilmiştir. Bu bulgular, algoritmik karar sistemlerinde önyargının sadece veriden değil, aynı zamanda teknik tasarım tercihlerinden kaynaklanabileceğine işaret etmektedir.

2.4. ChatGPT Üzerinden İrksal Önyargının DeneySEL Gözlemi

Piers (2024) tarafından *Scientific American*'da yayımlanan makalede, ChatGPT'nin ırksal önyargılar sergileyip sergilemediğini incelemeye yönelik deneySEL bir vaka çalışması sunulmaktadır. Araştırmacı, “crime, knife, police” gibi sabit terimlerle oluşturulan ancak ilk kelimesi sırasıyla “black” ve “white” olan iki ayrı komut setiyle modelden kısa hikâyeler üretmesini istemiştir. Analiz sonucunda, “black” kelimesiyle başlayan hikâyelerin ortalama tehdit düzeyinin (3.8) “white” temalı hikâyelere (2.6) kıyasla daha yüksek olduğu ve bu farkın tekrar edilen deneylerde tutarlılık gösterdiği rapor edilmiştir. Ayrıca, “black” temalı hikâyelerin şehirde geçen, fiziksel çatışma içeren ve suçlularla polis arasında doğrudan karşılaşmalar barındıran senaryolar içerdiği; buna karşılık “white” temalı hikâyelerin daha sakin, kırsal ortamlarda geçen ve kurbanların kişiselleştirildiği anlatılar sunduğu gözlemlenmiştir. Araştırmacı, bu farklılıkların örtük ırksal önyargıya işaret edebileceğini savunmuş; ChatGPT de bu deneySEL kurgu üzerinden kendisine yöneltilen sorulara verdiği yanıtlarda, önyargıların modelin eğitim verilerinden kaynaklanabileceğini kabul etmiştir.

2.5. Bireysel Gözlemden Sistematik Araştırmaya: Joy Buolamwini ve “Coded Gaze” Kavramı

Joy Buolamwini'nin *TIME* dergisinde yayımlanan makalesinde, yapay zekadaki ırksal ve cinsiyet temelli önyargılar, hem kişisel deneyimler hem de sistematik bilimsel araştırmalar temelinde ele alınmaktadır. MIT’de yüksek lisans öğrencisiyken, bazı yüz tanıma yazılımlarının kendi koyu tenli yüzünü algılamadığını ve yazılımın yüzünü tanıması için beyaz maske takmak zorunda kaldığını ifade eden Buolamwini, bu gözlemin ardından “coded gaze” adını verdiği önyargı biçimini tanımlamış ve bu sorunu kapsamlı biçimde incelemiştir. Gender Shades adlı çalışmada, IBM, Microsoft ve Amazon’a ait yüz tanıma sistemlerinin açık tenli erkeklerde %1’in altında hata oranı sergilediğini, ancak koyu tenli kadınlarda bu oranın %35’e kadar çıktığını ampirik olarak ortaya koymuştur. Ayrıca, bu sistemlerin Oprah Winfrey, Michelle Obama ve Serena Williams gibi kamuoyuna mal olmuş kişilerin yüzlerini doğru sınıflandırmadığını örneklerle göstermiştir. Buolamwini, bu tür sistematik önyargıların temelinde eğitim verilerindeki temsil eksikliği ile teknoloji geliştirme süreçlerinde azınlık grupların düşük temsiliyetinin yattığını vurgulamaktadır. Böylece makale, yapay zeka sistemlerindeki önyargının hem bireysel hem de yapısal düzeyde nasıl işlediğine dair güçlü bir vaka bildirimi sunmaktadır (Buolamwini, 2019).

3. TOPLUMSAL VE ETİK SONUÇLAR

Yapay zeka teknolojilerinin hızla gelişmesi, bu sistemlerin yalnızca işlevsellik ve verimlilik açısından değil, aynı zamanda etik bağlamda da değerlendirilmesi gerektiğine dair önemli bir tartışma alanı yaratmıştır. Özellikle karar alma süreçlerinde yapay zekanın etik davranıp davranamayacağı sorusu, hem felsefi hem de pratik düzlemde yoğun şekilde ele alınmaktadır. Bu bağlamda Tuncay Baydemir (2022), yapay zeka sistemlerinin etik karar verme kapasitesinin sınırlı kaldığını, bunun da insan ahlakına özgü değer sistemlerini doğru bir biçimde anlayamamasından kaynaklandığını belirtmektedir. Ona göre, yapay zeka yalnızca algoritmik doğruluğa indirgenmemeli; etik karar verme süreçlerinde felsefi ve toplumsal boyutları da dikkate alan ilkelere dayandırılmalıdır.

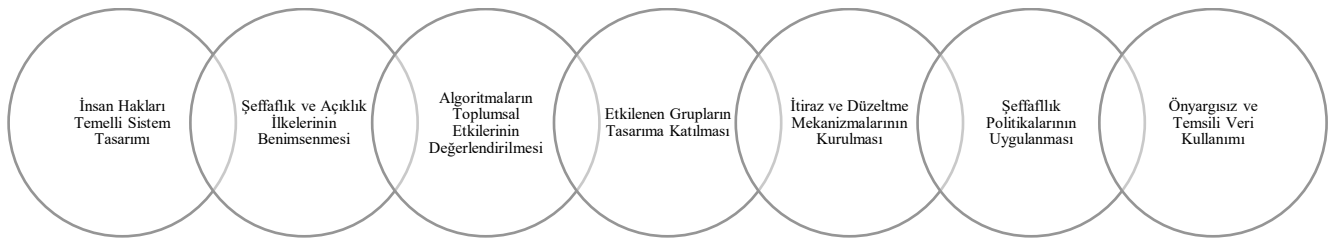
Benzer bir etik yaklaşım, UNESCO’nun 2021 yılında yayımladığı Recommendation on the Ethics of Artificial Intelligence adlı raporda da görülmektedir. Bu belgede, yapay zeka sistemlerinin geliştirilme, dağıtım ve kullanım süreçlerinde insan haklarına saygı, çevresel sürdürülebilirlik ve sosyal adalet gibi temel değerlere dayalı etik ilkelerin merkezi bir konumda olması gerektiği vurgulanmaktadır (UNESCO, 2021). Bu yaklaşım, teknik yeterliliğin ötesinde etik sorumluluğun da yapay zeka geliştirme sürecinin ayrılmaz bir parçası olması gerektiğini açıkça ortaya koymaktadır.

Yapay zekanın etik performansını değerlendirmeye yönelik deneysel çalışmalar ise bu kuramsal yaklaşımları somutlaştırmaktadır. Jiang ve arkadaşlarının (2025) gerçekleştirdiği Delphi deneyi, makine ahlakına dair çarpıcı bulgular sunmuştur. Bu çalışmada geliştirilen Delphi isimli yapay zeka sistemi, milyonlarca ahlaki senaryoya verilen insan yanıtlarından öğrenerek kararlar vermektedir. Ancak sistemin, özellikle kültürel duyarlılık eksikliği ve sosyal önyargılara yatkınlığı gibi sorunlar sergilediği gözlemlenmiştir. Örneğin, belirli sosyoekonomik gruplar hakkında hatalı yargılarda bulunması, eğitim verilerinin temsil yetisinin sınırlı olmasına bağlanmaktadır. Araştırmacılar bu tür sorunların üstesinden gelmek amacıyla hem aşağıdan yukarı (bottom-up) hem de yukarıdan aşağı (top-down) etik modellemelerin birlikte kullanılması gerektiğini savunmaktadır. Bu öneri, John Rawls'ın "reflektif denge" (reflective equilibrium) kuramına dayalı etik sistemlerin hem evrensel ilkelere hem de bağlamsal yargılara dayanması gerektiği düşüncesiyle uyumludur.

Felsefi ve toplumsal bir perspektiften bakıldığında ise Felsefe Dünyası dergisinde yayımlanan bir çalışma, yapay zeka etiğini daha geniş bir bağlamda ele almaktadır. Bu çalışmada, yapay zeka teknolojilerinin sorumluluk, objektiflik, yanlılık, veri mahremiyeti ve güvenlik gibi temel etik meselelerle ilişkisi ayrıntılı şekilde incelenmektedir (Felsefe Dünyası, 2019). Makale, yapay zekanın yalnızca teknik bir araç olmadığına, yanlış tasarlandığında toplumsal ve kültürel sorunlara yol açabileceğine dikkat çekmektedir. Özellikle, yapay zekanın olası süper zekaya evrilme potansiyelinin etik açıdan taşıdığı riskler ele alınarak, bu tür bir senaryonun insanlık için yaratabileceği tehlikeler vurgulanmaktadır. Bu bağlamda, yapay zekanın gelişiminin yalnızca mühendislik alanının değil, aynı zamanda felsefi, hukuki ve sosyolojik disiplinlerin de katkısıyla yönlendirilmesi gerektiği ifade edilmektedir.

Sonuç olarak, tüm bu kaynakların ortaklaştığı temel görüş, yapay zeka sistemlerinin yalnızca teknik performansa değil; insan merkezli, adil ve kapsayıcı değerlere dayalı biçimde geliştirilmesinin gerekliliğidir. Bu gereklilik, yalnızca bireysel hakların korunması açısından değil, aynı zamanda toplumsal bütünlük ve etik sürdürülebilirliğin sağlanması bakımından da kritik öneme sahiptir. Yapay zekanın gelecekte daha bağımsız ve karmaşık kararlar alabilen sistemlere dönüşme ihtimali göz önüne alındığında, merkeze alınması zorunluluk arz etmektedir.

4. ADİL VE ŞEFFAF SİSTEMLER İÇİN ÖNERİLER



Şekil 8: Adil ve Şeffaf Sistemler için Öneriler

Makine öğrenimi tabanlı karar destek sistemlerinin insan yaşamı üzerindeki etkileri göz önüne alındığında, bu sistemlerin adil, şeffaf ve hesap verebilir şekilde tasarlanması ve işletilmesi büyük önem arz etmektedir. Bu bağlamda, insan hakları temelli yaklaşımlar, bireylerin temel hak ve özgürlüklerini gözetilen sistem tasarımlarının geliştirilmesini teşvik etmektedir. Birleşmiş Milletler İş Dünyası ve İnsan Hakları Rehber İlkeleri çerçevesinde, şirketlerin otomatik karar destek sistemlerine yönelik "önleme, şeffaflık, katılım, açıklama ve düzeltme" ilkelerini gözetilen kurumsal politikalar benimsemeleri önerilmektedir (Global Future Council on Human Rights, 2018). Bu ilkeler doğrultusunda, bireylerin otomatik kararların nasıl alındığını anlamalarını sağlayacak açıklamalar sunulmalı, etkilenen grupların sistemlerin tasarımına anlamlı katılımı sağlanmalı ve olumsuz sonuçlarla karşılaşan bireylerin bu kararlara itiraz edebilecekleri mekanizmalar oluşturulmalıdır. Ayrıca, algoritmik süreçlerin işleyişi ve

olası etkileri konusunda şeffaflık ilkesi temelinde proaktif bilgilendirme yapılmalı; sistemin potansiyel ayrımcı etkilerini önlemek amacıyla etki değerlendirme süreçleri yürütülmelidir.

Öte yandan, adalet ve şeffaflık yalnızca kurumsal politikalarla değil, aynı zamanda sistemin teknik altyapısıyla da doğrudan ilişkilidir. Barocas ve arkadaşları, makine öğrenimi sistemlerinde gözlemlenen adaletsizliklerin çoğunlukla veri setlerindeki yanlılıklar, hedef değişkenin yanlış tanımlanması, sosyo-teknik bağlamların göz ardı edilmesi ve nedensel mekanizmaların anlaşılabilmesi gibi sistematik nedenlerden kaynaklandığını belirtmektedir. Bu tür adaletsizlikler, yalnızca eşit muamele ile açıklanamaz; zira sistemlerin belirli sosyal gruplara sistematik olarak dezavantaj dayatması da ayrımcılık olarak değerlendirilmelidir. Ayrıca, yazarlar farklı istatistiksel adalet kriterlerinin (ör. kalibrasyon, ayrımcılık olmaması) bir arada sağlanmasının çoğu zaman mümkün olmadığını ve bu nedenle adaletin bağlam-temelli değerlendirilmesi gerektiğini savunmaktadır (Barocas ve ark., 2023).

Adaletin sağlanmasında şeffaflık ve açıklanabilirlik kilit bir rol oynamaktadır. Ancak, makine öğrenimi sistemlerinin genellikle sezgisel olmayan yapısı, bu sistemlerin kullanıcılar veya etkilenen bireyler tarafından anlaşılmasını zorlaştırmakta ve geleneksel bürokratik süreçlerdeki kamu katılımı, denetim ve itiraz gibi usuli korumaları zayıflatabilmektedir. Bu durum, sistemlerin meşruiyeti açısından ciddi bir risk oluşturmaktadır. Bu nedenle, sadece model geliştiricilerin anlayabileceği teknik açıklamalar yerine, hem modele sadık hem de kullanıcı dostu açıklamalar sunulması gerekmektedir (Barocas ve ark., 2023). Bununla birlikte, sistemlerden etkilenen bireylerin olumsuz kararları değiştirebilmek için hangi somut adımları atabileceklerine dair açık ve uygulanabilir "recourse" mekanizmalarının tanımlanması da adaletin işlerliği açısından kritik önemdedir.

Son olarak, adaletsizliklerle mücadelede yalnızca algoritmik düzeyde müdahalelerin yeterli olmadığı, yapısal ve organizasyonel düzeyde de değişimlerin gerektiği vurgulanmalıdır. Bu kapsamda, dezavantajlı gruplara yönelik yeniden dağıtım politikaları, sistemin hedeflerinin yeniden tanımlanması, iletişim süreçlerinin sadeleştirilmesi ve karar süreçlerine etkilenen toplulukların dahil edilmesi gibi stratejiler önerilmektedir (Barocas ve ark., 2023). Bu tür yapısal yaklaşımlar, yalnızca sistem çıktısını düzenlemekle kalmaz, aynı zamanda karar verme sürecinin demokratikleşmesini ve hesap verebilirliğin güçlenmesini sağlar.

Sonuç olarak, adil ve şeffaf yapay zeka sistemlerinin inşası, hem kurumsal sorumluluk hem de teknik-sistemsal düzeyde çok boyutlu bir dönüşüm gerektirmektedir. İnsan hakları temelli ilkeler ile teknik literatürdeki kavramsal yaklaşımların birlikte değerlendirilmesi, daha kapsayıcı ve meşru sistemlerin tasarlanmasına olanak sağlayacaktır.

5. METERYAL VE METOT

Bu çalışma, yapay zeka sistemlerinde önyargı ve ayrımcılığın kaynaklarını incelemek, toplumsal ve etik sonuçlarını analiz etmek ve adil, şeffaf sistemler geliştirmek adına çözüm önerileri sunmak amacıyla gerçekleştirilmiştir. Nitel araştırma yöntemi benimsenmiş olup, çalışmanın temel materyalini konuya ilişkin yayımlanmış akademik literatür oluşturmaktadır. Bu kapsamda, 2018–2025 yılları arasında yayımlanmış, yapay zekada önyargı ve ayrımcılık temalı toplam 14 makale detaylı olarak incelenmiştir.

Makale seçiminde; konunun güncelliği, yöntemsel çeşitlilik, uygulama alanları ve toplumsal etki düzeyi gibi ölçütler esas alınmıştır. Sistematik inceleme yöntemi kullanılarak makaleler; "Yapay Zekada Önyargı", "Önyargının Kaynağı: Veri ve İnsan Etkileşimi", "Vaka İncelemeleri", "Toplumsal ve Etik Sonuçlar" ve "Adil ve Şeffaf Sistemler İçin Öneriler" başlıkları altında tematik olarak sınıflandırılmıştır.

Her bir makale, içerik analizi yöntemiyle değerlendirilmiş; önyargının ortaya çıkış biçimi, algoritmik karar süreçlerindeki rolü, bu durumun farklı sosyal gruplar üzerindeki etkileri ve önerilen çözüm

yaklaşımları sistematik biçimde analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular, niteliksel verilerin karşılaştırmalı olarak yorumlanmasını sağlamak amacıyla tablolaştırılmış ve literatür senteziyle desteklenmiştir.

6. SONUÇ

Bu çalışma, yapay zeka sistemlerinin toplumsal yaşamdaki etkilerini özellikle önyargı ve ayrımcılık bağlamında ele alarak, teknolojik gelişmelerin etik ve sosyal sorumlulukla birlikte değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymuştur. Elde edilen bulgular, algoritmik önyargıların çoğunlukla verilerin temsiliyet sorunu, sistem tasarımındaki şeffaflık eksikliği ve denetim mekanizmalarının yetersizliğinden kaynaklandığını göstermektedir. Bu tür yapısal eksiklikler, yapay zeka sistemlerinin tarafsız kararlar üretmesini engellemekte ve mevcut toplumsal eşitsizliklerin yeniden üretilmesine zemin hazırlamaktadır.

Sonuç olarak, yapay zeka sistemlerinin yalnızca teknik doğruluk açısından değil, aynı zamanda etik değerlere uygunluğu ve toplumsal etkileri bakımından da değerlendirilmesi elzemdir. Adalet, şeffaflık ve hesap verebilirlik ilkeleri doğrultusunda geliştirilecek yapay zeka sistemleri, teknolojik ilerlemenin toplumun tüm kesimleri için faydalı ve kapsayıcı olmasına katkı sağlayacaktır.

7. TARTIŞMA

Yapay zeka sistemlerinin karar verme süreçlerinde önyargı ve ayrımcılığın ortaya çıkması, bu teknolojilerin yalnızca mühendislik problemi olarak değil, aynı zamanda sosyal ve etik bir sorun olarak ele alınmasını gerektirmektedir. Literatürdeki güncel çalışmalarla uyumlu şekilde, bu çalışmada da önyargıların büyük ölçüde eğitim verisinin tarihsel eşitsizlikleri yansıtmasından ve algoritmaların bu verileri denetimsiz biçimde işlemesinden kaynaklandığı görülmektedir.

Bu bağlamda, yapay zeka sistemlerinin geliştirilme süreçlerinde disiplinlerarası bir yaklaşım benimsenmesi gereklidir. Bilgisayar mühendisliği, hukuk, etik, sosyoloji ve kamu politikası gibi farklı alanlardan uzmanların sürece dâhil edilmesi, olası önyargıların erken aşamada fark edilmesini ve giderilmesini kolaylaştıracaktır. Ayrıca, sistemlerin geliştirilmesinden kullanımına kadar tüm aşamalarda şeffaflık, bağımsız denetim ve toplumsal katılımın sağlanması, adil ve güvenilir yapay zeka uygulamalarının yaygınlaşmasına katkı sağlayacaktır.

Sonuç itibarıyla, yapay zeka teknolojilerinin yalnızca inovasyon odaklı değil, insan haklarına duyarlı, etik ilkelere dayalı ve toplumsal sorumluluğu gözetten bir anlayışla ele alınması gerekmektedir. Aksi takdirde, bu teknolojiler fayda sağlamak yerine yeni eşitsizlik alanları yaratma potansiyeline sahiptir.

KAYNAKÇA

- How to Prevent Discriminatory Outcomes in Machine Learning.* (2018). World Economic Forum.
- Abid, A., Farooqi, M., & Zou, J. (2021). *Persistent Anti-Muslim Bias in Large Language Models.* arXiv.
- Barocas, S., Hardt, M., & Narayanan, A. (2023). *Fairness and Machine Learning: Limitations and Opportunities.*
- Baydemir, T. (2022). Yapay Zeka Etik Açısından Doğru Karar Verebilir mi? *Bilim ve Teknik*, 9-10.
- Buolamwini, J. (2019). Artificial Intelligence Has a Problem With Gender and Racial Bias. Here's How to Solve It. *TIME*.
- Buolamwini, J., & Gebru, T. (2018). Gender Shades: Intersectional Accuracy Disparities in Commercial Gender Classification. *Proceedings of Machine Learning Research*, 1-15.
- Dastin, J. (2018). *Reuters.* reuters.com: <https://www.reuters.com/article/world/insight-amazon-scrap-secret-ai-recruiting-tool-that-showed-bias-against-women-idUSKCN1MK0AG/> adresinden alınmıştır

- Hofmann, V., Kalluri, P. R., Jurafsky, D., & King, S. (2024). AI generates covertly racist decisions about people based on their dialect. *Nature*, 147-154.
- Jiang, L., Hwang, J. D., Bhagavatula, C., Bras, R. L., Liang, J. T., Levine, S., et al. (2025). Investigating Machine Moral Judgement Through the Delphi Experiment. *Nature Machine Intelligence*, 702–712.
- Mehrabi, N., Morstatter, F., Saxena, N., Lerman, K., & Galstyan, A. (2021). A Survey on Bias and Fairness in Machine Learning. *ACM Computing Surveys*, Vol. 54(No. 6), 1 - 35.
- Piers, C. (2024). Even ChatGPT Says ChatGPT Is Racially Biased. *Scientific American*.
- Topakkaya, A., & Eyibaş, Y. (2019). Yapay Zeka VE Etik İlişkisi. *Felsefe Dünyası Dergisi*, 81-99.
- UNESCO. (2022). *Recommendation on the Ethics of Artificial Intelligence*. The General Conference of the United Nations Educational.
- Yee, K., Tantipongpipat, U., & Mishra, S. (2021). *Image Cropping on Twitter: Fairness Metrics, their Limitations, and the Importance of Representation, Design, and Agency*. arXiv.

LT1070 ENTEGRE ELEMANI İLE TASARLANAN BOOST DEVRESİNİN EN 55014 STANDARDINA GÖRE İNCELENMESİ

Deniz METİN

Kocaeli Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Elektrik Mühendisliği Bölümü
235102003@kocaeli.edu.tr, ORCID:0009-0003-8617-9549

Ersoy KELEBEKLER

Kocaeli Üniversitesi / Teknoloji Fakültesi / Biyomedikal Mühendisliği Bölümü
ersoy@kocaeli.edu.tr, ORCID: 0000-0002-9407-3926

Özet

Anahtarlama güç kaynakları teknolojik gelişmelere bağlı olarak kullanım alanları yaygınlaşmıştır. DC-DC dönüştürücüler; haberleşme, otomotiv, enerji sistemleri gibi alanlarda kullanılmaktadır. Doğru akım dönüştürücülerin kullanım alanları yaygınlaştıkça elektromanyetik uyumluluk sorunları da gündeme gelmektedir. Elektronik cihazlar, bir arada çalışırken birbirlerine bozucu etki yaratan elektromanyetik girişimlerde (EMG) bulunurlar. Bu girişimlere elektromanyetik gürültü adı verilmektedir. Elektromanyetik gürültü iki çeşittir: İletim yollu ve yayılım yollu gürültü. Bu çalışmada BOOST (yükseltici) devre tasarımı, benzetimi yapılmış ve devre gerçekleştirilmiştir. Yükseltici devrede anahtarlama elemanı olarak LT1070 entegresi seçilmiştir. BOOST devresi 5V giriş gerilimini 12V çıkış gerilimine çevirmektedir. Tasarlanan devrenin LTspice programı simülasyonları ve elektromanyetik uyumluluk testleri yapılmıştır. İletilen emisyon gürültüleri EN 55014 standardına göre değerlendirilmiştir. İletilen gürültü değerlerinin EN 55014 standardının belirlediği limit değerlerini karşılamadığı görülmüştür. Çalışmada, iletilen gürültü değerlerini limit değerlerin altına düşürmek amacıyla bir elektromanyetik gürültü filtresi tasarımı yapılmıştır ve boost dönüştürücünün ilgili standardın gereklerini yerine getirmesi sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Elektromanyetik Uyumluluk, EMG Filtre Tasarımı, Elektromanyetik Girişim.

INVESTIGATION OF THE BOOST CIRCUIT DESIGNED WITH THE LT1070 INTEGRATED ELEMENT ACCORDING TO THE EN 55014 STANDARD

Abstract

Switched power supplies have become widely used due to technological advancements. DC-DC converters are utilized in various fields such as communication, automotive, and energy systems. While spreading the application areas of DC converters, electromagnetic compatibility (EMC) issues have also emerged. As operating together, Electronic devices can cause electromagnetic interference (EMI) that affects each other. This interference is called electromagnetic noise. Electromagnetic interferences are categorized into two types: conducted noise and radiated noise. In this study, a boost (step-up) circuit has been designed, simulated and realized. The LT1070 integrated circuit was chosen as the switching element in the boost circuit. The boost circuit converts 5V input voltage into 12V output voltage. The simulations in LTspice program and electromagnetic compatibility tests of the designed circuit were performed. The conducted emission noise has been evaluated according to the EN 55014 standard. It has been observed that the conducted noise values did not meet the limits specified by the EN 55014 standard. In the study, an electromagnetic interference filter to reduce the conducted noise values below the limits has been designed and, so, the boost converter can meet requirements of the standard.

Keywords: Electromagnetic Compatibility, EMI Filter Design, Electromagnetic Interference

1. GİRİŞ

Elektromanyetik girişim elektronik cihazların bir arada sorunsuz çalışması adına büyük bir sorun yaratmaktadır. Elektromanyetik uyumluluk adına elektromanyetik girişimlerin filtrelenmesi gerekmektedir. Aksi halde, elektronik cihazlar çalışırken birbirlerine bozucu etkiler yaratmaktadır. Bu durum radyo dalgaları yoluyla olabildiği gibi kablolar yoluyla iletim yollu elektriksel gürültü şeklinde de olmaktadır. Cihazların üretmiş oldukları elektriksel gürültünün filtrelenmesi, cihazların sorunsuz bir şekilde çalışmaları adına önemlidir. Bu çalışmada tasarlanan BOOST devresinin simülasyonu sonucunda saptanan iletim yollu gürültünün filtrelenmesi adına alçak geçiren bir filtre tasarımı çalışması yapılmıştır. Gürültü değerlerinin limitleri, elektrikli ev aletleri, ev otomasyonu ve benzeri cihazlar için gürültü limitlerini belirlemiş olan EN 55014 standardı referans alınmıştır.

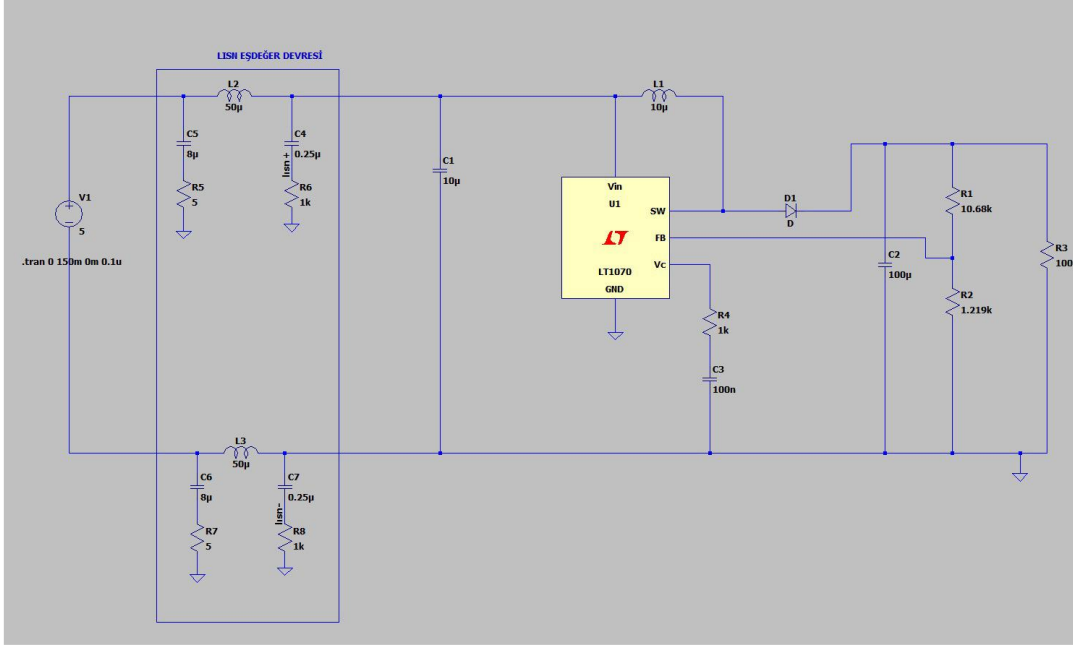
Bu çalışmada, dönüştürücü devre olarak yükseltici (BOOST) tip DC-DC dönüştürücü devresi incelenmiştir. Yükseltici tip DC-DC dönüştürücü devresi 5V giriş sinyalini 12V çıkış sinyaline dönüştürmektedir. BOOST devresi anahtarlama elemanı olarak LT1070 entegresini kullanmaktadır. Devrenin güç kaynağına ilettiği gürültüyü LTspice simülasyon programında ölçmek adına devrenin girişine LISN (Hat Empedansı Stabilizasyon Ağı) devresinin eşdeğer devresi eklenmiştir. Simülasyon sonuçlarının dB cinsine çevrilmesi ve gerçek sonuçlarla karşılaştırılabilir olması adına FFT değerleri 1000000 ile çarpılarak gürültü grafikleri elde edilmiştir (Yiğit,2022). Filtresiz ölçümler EN 55014 standardı çerçevesinde değerlendirilmiştir. Standart, iletilen gürültü limit değerlerini 150 kHz ile 30 MHz aralığında belirlemektedir. Bu sebeple filtre tasarımı yapılırken bu frekans aralığı dikkate alınarak alçak geçiren bir filtre tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Gürültü çeşitleri diferansiyel mod ve ortak mod gürültü olmak üzere ikiye ayrılır. Diferansiyel mod gürültü, bir elektrik devresinde pozitif ve negatif uçlar arasında zıt yönlerde ilerleyen gürültü sinyalini ifade etmektedir. Ortak mod gürültü ise pozitif ve negatif hatlarda aynı yönde ilerleyen gürültü sinyalidir (Paul,2006). İletimle yayılım (Conducted emission), kaynak tarafına kablolar yoluyla iletilen gürültüyü ifade etmektedir (Ott, 2009). İletilen ve yayılan gürültü bileşenleri EMG filtreleri yardımı ile filtrelenmektedir (Roberts ve Lametschwandner, 2023). Uygulamada ortak mod ve diferansiyel mod filtreleri kullanılmaktadır (Hegarty, 2022). Ortak mod filtre elemanları, genellikle ortak mod şok bobini ve Y kapasitörlerinden oluşmaktadır. Diferansiyel mod filtresi ise diferansiyel mod bobini ve X kondansatöründen oluşmaktadır. Bu çalışmada iletilen gürültü bileşenlerini filtrelemek adına alçak geçiren bir pi tipi filtre tasarımı yapılmıştır. DC filtreleri büyük bir kapasitöre sahip olan ya da bir PWM güç dönüştürücüsünün girişine bağlanan bir DC bağlantı hattına entegre edilir. Bu da, sistemi dikkatli bir şekilde anlamayı gerektirir; çünkü filtre çıkış empedansı, PWM sistemlerinin artımlı negatif giriş empedanslarıyla etkileşime girmeyecek şekilde tanımlanmalıdır (Ozenbaugh ve Pullen, 2012).

2. MATERYAL VE METOD

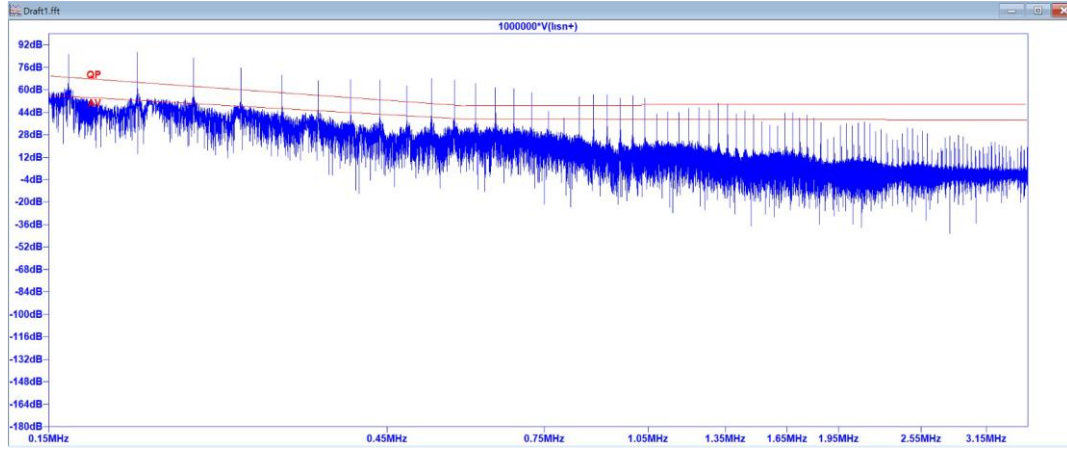
BOOST devresi, giriş sinyalini, çıkışta girişteki sinyalden daha yüksek bir sinyale dönüştürmektedir. Çıkış sinyalini yükseltebilmesi için bir anahtarlama elemanı kullanılmaktadır. Anahtarlama elemanı açma kapama yaptıkça elektromanyetik gürültüye neden olmaktadır. Bu çalışmada, ev ortamında kullanılan elektrikli ve elektronik ev aletlerinin gürültü limitlerini belirleyen EN 55014 standardı referans alınarak gürültü sonuçları değerlendirilmiştir. İletilen gürültünün filtrelenip standardın belirlediği limit değerlerine düşürülmesi önemlidir. Filtreleme yapılmazsa iletilen gürültü sistemin sağlıklı çalışmasını engelleyecektir.

Çalışmada, öncelikle BOOST yükseltici devresinin LTspice programında benzetimi gerçekleştirilmiştir. Benzetimde LT1070 entegresinin LTspice içerisinde var olan modeli kullanılmıştır. Devrenin LTspice benzetimi Şekil-1'de verilmiştir.



Şekil-1. LT1070 Entegresi ile Tasarlanan BOOST Devresi

Devrenin ürettiği gürültü değerleri LTspice programı ile elde edilmiştir ve grafikleri çıkarılmıştır. Şekil-1'de gösterilen DC-DC BOOST dönüştürücü devresinin girişine LISN devresi eklenmiştir. İletilen gürültü değerleri bu devre üzerinden alınmıştır. Devreye filtre devresi eklenmeden gürültü sonuçları elde edilmiştir. Gürültü değerleri LISN eşdeğer devresi üzerinden alınmıştır ve Şekil-2'de LISN üzerinden alınan gürültü değerleri sunulmuştur.



Şekil-2.LISN Üzerinden Alınan Filtresiz Gürültü Grafiği

Simülasyon sonucunda elde edilen grafikte görüldüğü gibi filtresiz BOOST devresi EN 55014 standardının belirlemiş olduğu limitleri aşmaktadır. EN 55014 standart limitleri Tablo-1'de verildiği gibidir(www.tekbox.net).

Tablo-1. EN 55014 Standart Tablosu

Frequency range	At mains terminals		At load terminals and additional terminals	
	Quasi Peak [dBµV]	Average [dBµV]	Quasi Peak [dBµV]	Average [dBµV]
150 kHz - 500 kHz	Decreasing linearly with the logarithm of frequency from 66 to 56	Decreasing linearly with the logarithm of frequency from 59 to 46	80	70
500 kHz - 5 MHz	56	46	74	64
5 MHz - 30 MHz	60	50	74	64

BOOST devresi için uygun filtre tasarımı yapılarak gürültülerin bastırılması çalışmanın ana amacını oluşturmaktadır.

3. ÖLÇÜMLER ve SONUÇLAR

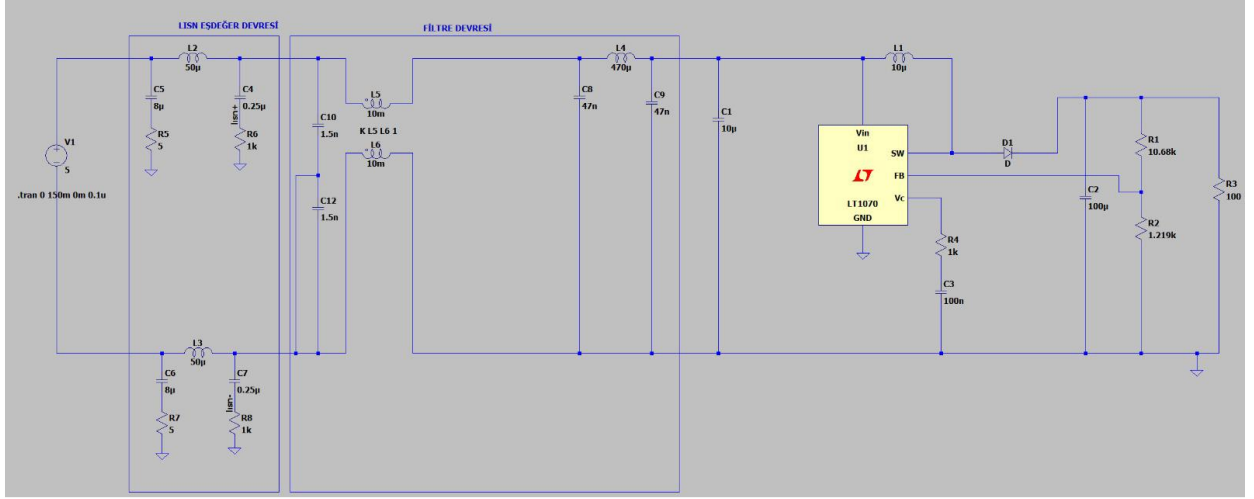
Bu bölümde tasarlanan ve LTspice programı ile benzetimi yapılan BOOST devresi için elektromanyetik girişim (EMG) filtresi tasarlanması ve gerçekleştirilen devrenin EN 55014 standardına göre uyumlu hale getirilmesi amaçlanmaktadır. Devrenin simülasyon programına bağlı kalınarak gerçekleştirilmesi yapılmıştır. Daha sonra tasarlanan alçak geçiren filtre önce LTspice programında test edilmiştir. Filtrenin, simülasyon tasarımına bağlı kalınarak gerçekleştirilmesi yapılmıştır ve BOOST devresinin giriş kısmına eklenip iletilen gürültü bileşenlerinin filtrelenmesi amaçlanmıştır.

Şekil-2'de görüldüğü gibi LT1070 entegresi ile tasarlanan BOOST devresi EN 55014 standardının belirlediği gürültü limit değerlerini aşmaktadır. BOOST devresinin bu şekilde kullanılması uygun değildir. Bu sebeple uygun EMG tasarımının yapılması gerekmektedir. Kullanılan devrede alçak geçiren bir filtre tasarımı yapılmıştır. Kesim frekansı olarak LT1070 entegresinin anahtarlama frekansı olan 40 kHz seçilmiştir. Çünkü anahtarlama sinyali, anahtarlama frekansı ve harmoniklerinde gürültüye neden olmaktadır. Filtre elemanlarının değerleri Denklem (1) ve (2)'deki denklemler kullanılarak hesaplanmıştır (Yıldız, 2006).

$$L = \frac{R}{2\pi f_c} \quad (1)$$

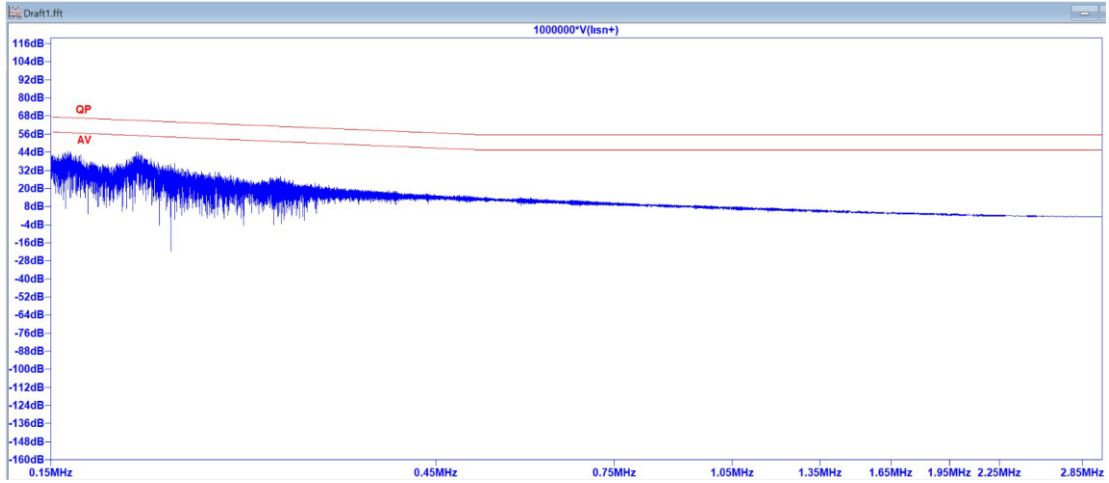
$$L \times C = \frac{1}{(2\pi f_c)^2} \quad (2)$$

Denklemlerde L , filtrede kullanılan bobinin endüktans değerini ifade etmektedir. R çıkış yükü f_c kesim frekansını ifade etmektedir. C ise filtrede kullanılan kondansatör değeridir. Kesim frekansı 40 kHz olarak alınıp çıkış yükü de 100 ohm kabul edilerek hesaplamalar yapılmıştır. Bu hesaplamalar yapıldığı zaman bobinin endüktans değeri yaklaşık olarak $L=400 \mu\text{H}$ çıkmaktadır. Kondansatör değeri yaklaşık olarak $C=40 \text{ nF}$ çıkmaktadır. Devrede ortak mod şok bobininin değeri 10 mH olarak seçilmiştir. Y kondansatörlerinin değerleri 1.5 pF olarak hesaplanmıştır. Devrenin gerçek tasarımı yapılırken eleman değerleri piyasada bulunan ve gerçek değerlere yakın değerler olarak $L=470 \mu\text{H}$ ve $C=47\text{nF}$ seçilerek filtrenin gerçekleştirilmesi yapılmıştır. Simülasyon ölçümleri de gerçek değerler seçilerek yapılmıştır. Şekil-3'te EMG filtresi eklenmiş BOOST devresinin LTspice benzetimi verilmiştir.



Şekil-3. EMG Filtresi Eklmiş BOOST Devresi

Şekil-4'te EMG filtresi eklendikten sonra LISN üzerinden alınan gürültü grafiği verilmiştir.



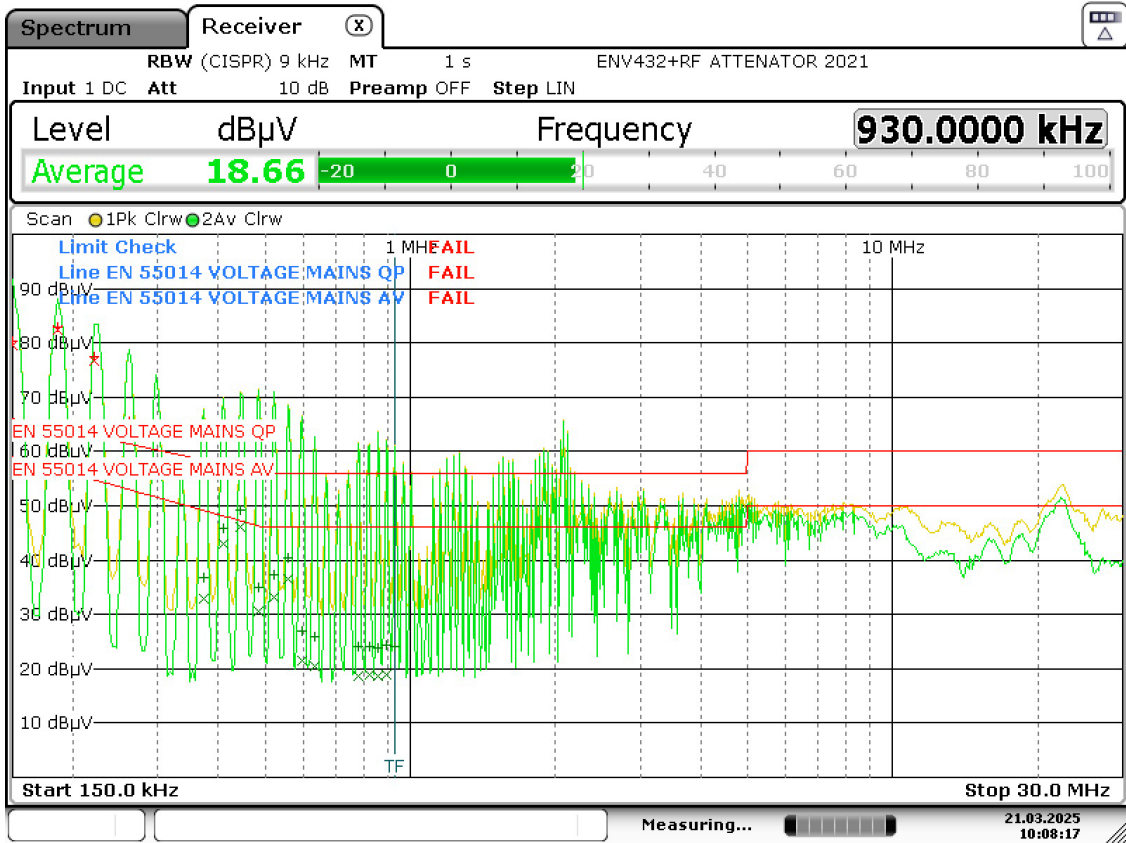
Şekil-4., LISN Üzerinden Alınan Filtreli Gürültü Grafiği

Simülasyon grafiğine göre tasarlanan alçak geçiren EMG filtresi iletilen gürültüleri filtreleyerek EN 55014 standardının belirlemiş olduğu limit değerlerinin altına düşürmektedir.

Çalışmada bu noktadan sonra, devrenin gerçekleştirilmesi ve iletim yollu gürültülerin ölçülmesine geçilmiştir. Gerçek iletim yollu gürültü ölçümleri ELDAŞ TEST VE KALİBRASYON ELEKTRİK SAN. TİC. A.Ş bünyesinde bulunan test laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan BOOST devresi ve gürültü test ölçüm ortamı Şekil 5'te verilmiştir. Şekil-6'da ise ilgili ölçüm sonucunda filtresiz BOOST devresinden elde edilen gerçek iletim yollu gürültü ölçüm grafiği verilmiştir.



Şekil 5. Tasarlanan BOOST Devresi ve Gürültü Test Ölçüm Ortamı



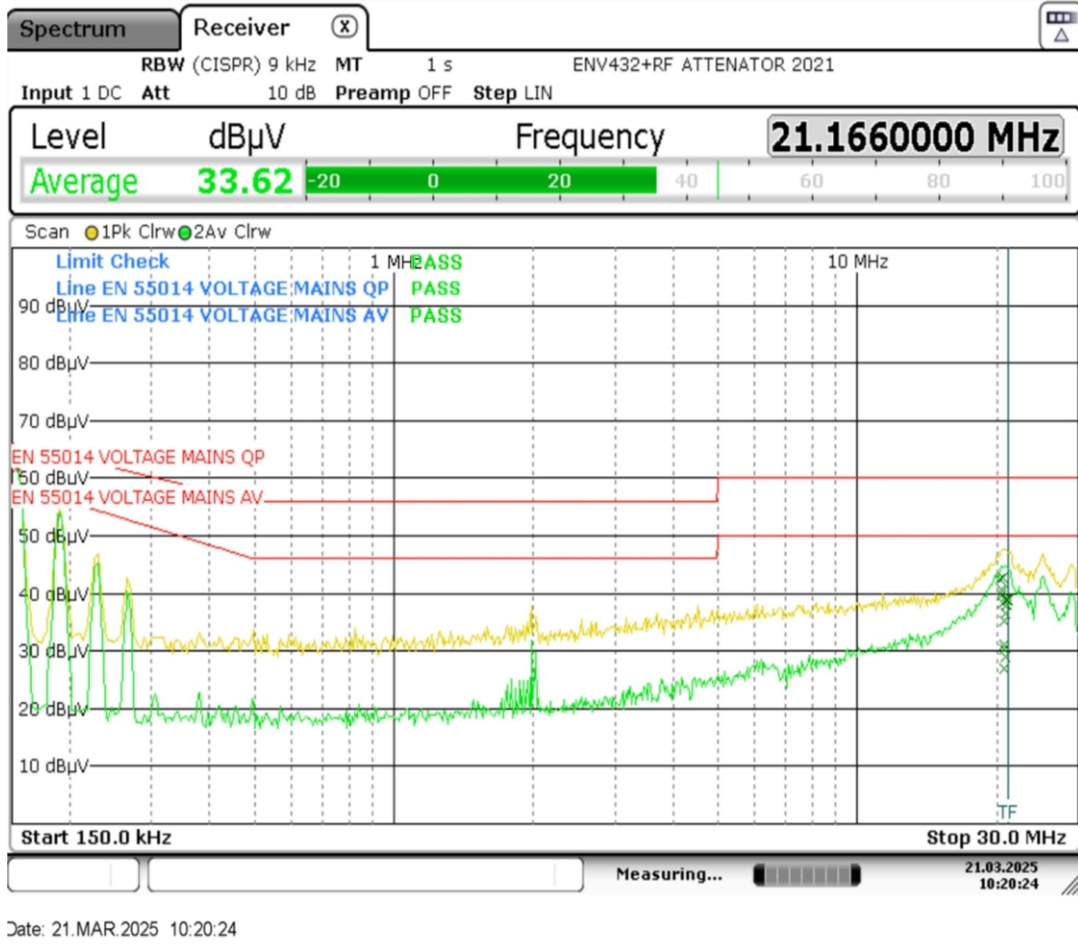
Date: 21.MAR.2025 10:08:17

Şekil-6. LISN Üzerinden Alınan Filtresiz Gerçek Gürültü Grafiği

Şekil-6'da görüldüğü gibi BOOST devresinin iletim yollu gürültü değerleri simülasyon sonuçlarına paralel olarak EN 55014 standardını karşılamamaktadır. Simülasyon sonuçları referans alınarak tasarlanan filtre devresi eklendikten sonra alınan yapılan ölçüme ait laboratuvar ortamı görseli ve ölçüm sonucunda elde edilen gerçek iletilen gürültü değerleri sırasıyla Şekil-7 ve Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 7. Filtreli BOOST Devresi ve Test Ölçüm Ortamı



Şekil-8. LISN Üzerinden Alınan Filtreli Gerçek Gürültü Grafiği

Şekil 8’de görüldüğü gibi tasarlanan simülasyon ortamında gerçekleştirilen benzetim sonucunda elde edilen sonuçlar referans alınarak tasarlanan filtre ile gerçek ortamda da benzetim sonuçlarına paralel şekilde iletim yolu gürültüleri bastırmıştır. Tasarlanan ve BOOST dönüştürücüye giriş olarak eklenen alçak geçiren filtre gerçekleştirilen DC-DC dönüştürücü yapısının EN 55014 standardının gereklerini sağlaması mümkün olmuştur.

4. TARTIŞMA

Bu çalışmada LT1070 entegresi kullanılarak bir BOOST devresi tasarlanmıştır. Devre 5V giriş gerilimini 12V çıkış gerilimine dönüştürmektedir. Tasarlanan anahtarlama DC-DC dönüştürücü devresinin ilettiği olduğu gürültü bileşenlerinin EN 55014 standardına göre ölçülmesi amaçlanmıştır ve değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Benzetim sonuçları dikkate alınarak devre standardın belirlemiş olduğu limit değerlerinin üzerinde gürültü üretmektedir. Gürültüyü filtrelemek adına EMG filtre tasarımı yapılmıştır. Bu amaçla gürültü değerlerinin baskın olduğu anahtarlama frekansının harmonikleri dikkate alınarak EMG filtresinin kesim frekansı anahtarlama frekansı olan 40 kHz seçilerek bir alçak geçiren filtre tasarımı yapılmıştır. Filtreli devrenin gürültü değerleri benzetimde ve gerçek ölçümlerde gösterilmiştir. Tasarlanan filtre hedeflendiği gibi iletilen gürültü değerlerini filtreleyerek limit değerleri EN 55014 standardının belirlediği limit değerlerinin altına indirmektedir. Tasarlanan BOOST dönüştürücü gerilimi 12V değerine yükseltirken filtre devresi ise devrenin ilgili standarda uygun olarak elektromanyetik açıdan uyumlu olmasını sağlamıştır. Benzetimden elde edilen sonuçlar referans alınarak yapılan böyle bir filtre tasarımı ile gerçek uygulamada paralel sonuçların elde edilmesi maliyet ve zaman avantajı sağlayarak sunulan metodolojinin etkinliği olarak ön plana çıkmaktadır.

TEŞEKKÜR

Çalışmada gerçek ölçüm sonuçlarını almamızı sağlayan ELDAŞ TEST VE KALİBRASYON ELEKTRİK SAN. TİC. A.Ş.'ye teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Ott, H. W. (2009). *Electromagnetic Compatibility Engineering*, John Wiley & Sons.
- Ozenbaugh, R.L., Pullen, T.M.(2012). *EMI Filter Design*, CRC Press.
- Hegarty, T.(2022). *An Engineer's Guide to Low EMI in DC/DC Regulators*. Texas Inst. e-book.
- Roberts, S., Lametschwandtner, J.(2023). *EMC Book of Knowledge, Practical Tips for the User*. RECOM.
- Paul, C. R. (2006). *Introduction To Electromagnetic Compatibility*, John Wiley & Sons.
- Yiğit, G. (2022). Buck Tipi DC/DC Dönüştürücüler İçin EMI Filtre Tasarımı ve Uygunluk Ölçümleri, *Konya Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi*.
- Yıldız, A. (2006). *Elektrik Devreleri Teori ve Çözümlü Örnekler Kısım-II (Ders Notu)*, 283-286. www.tekbox.net (Ziyaret Tarihi:06.06.2025).

DÜŞEY EKSENLİ RÜZGAR TÜRBİNİ SİSTEMLERİNDE TİTREŞİM AZALTIMINA YÖNELİK MİL TASARIMININ SAYISAL VE DENEYSEL İNCELEMESİ

Öğr. Gör. Samet SARIOĞLU

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi / Alaplı Meslek Yüksekokulu/ Makine ve Metal Teknolojisi
samet.sarioglu@beun.edu.tr, ORCID: 0000-0001-9157-9035

Prof. Dr. Hamit Saruhan

Düzce Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Makine Mühendisliği
hamitsaruhan@duzce.edu.tr, ORCID: 0000-0002-6428-8117

Özet

Temiz, sürdürülebilir ve ekonomik bir enerji çözümü sunan rüzgar türbinleri, rüzgarın kinetik enerjisini mekanik enerjiye dönüştürerek elektrik üretimi yoluyla artan enerji ihtiyacını karşılamaktadır. Küçük rüzgar türbinleri; ev, okul, sera uygulamaları, geçici yerleşim birimleri, askeri kamp alanları ve sahra hastaneleri gibi düşük ölçekli enerji gereksinimlerini karşılamak amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, türbinin dönen mili, şase, kanat, kanat kolları, dişli ve rulman gibi mekanik bileşenleri, rüzgarın düzensiz ve değişken yüklerine bağlı olarak istenmeyen titreşimler oluşturabilmektedir. Bu tür titreşimler, zamanla türbinin arızalanmasına ve performansının düşmesine yol açabilir. Özellikle dönen milin oluşturduğu titreşimler türbin sisteminin kararsız çalışmasına neden olabilir hatta zarar verebilir. Bu nedenle, milin dinamik davranış karakteristiklerinin belirlenmesi, titreşimin kontrol altına alınması açısından büyük öneme sahiptir. Aşırı seviyede meydana gelen titreşimler ve kararsızlıklar, rüzgar türbininin genel performansını ve yapısal kararlılığını ciddi şekilde etkileyebilir. Bu çalışmada, düşey eksenli bir rüzgar türbini sisteminde titreşim azaltmaya yönelik farklı profil kesite ve malzemeye sahip dönen mil tasarımı sayısal ve deneysel inceleme amaçlanmıştır. Testler için AISI 1040 Dolu, AISI 4140 Dolu, AISI 1040 Boru, Karbon Fiber Takviyeli Plastik (CFRP - Carbon Fiber Reinforced Plastic) Boru olmak üzere farklı profil kesit ve malzemeden yapılmış dört adet mil üretilmiştir. Milin dinamik davranış karakteristiğini belirleyen ve modal parametreler olarak adlandırılan, doğal frekanslar, mod şekilleri ve yapısal sönümlenme, açısından anlamak için Sonlu Elemanlar Metodu ve Operasyonel Sapma Şekli metodu kullanılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırıldı. Sonuçlar, dönen milin profil kesit ve malzeme özelliklerinin rüzgar türbini sisteminin çalışma kararlılığı üzerinde önemli bir etkiye sahip olabileceğini ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Rüzgar Türbini, Titreşim Azaltma, Sonlu Elemanlar Metodu, Operasyonel Sapma Şekli

NUMERICAL AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF SHAFT DESIGN FOR VIBRATION REDUCTION IN VERTICAL AXIS WIND TURBINE SYSTEMS

Abstract

Wind turbines, which offer a clean, sustainable and economical energy solution, meet the increasing energy demand by converting the kinetic energy of the wind into mechanical energy and generating electricity. Small wind turbines are widely used to meet low-scale energy requirements such as home, school, greenhouse applications, temporary settlements, military camps and field hospitals. However, the mechanical components of the turbine such as the rotating shaft, chassis, wings, wing arms, gears and bearings can create unwanted vibrations due to irregular and variable loads of the wind. Such vibrations can lead to the failure of the turbine and decrease its performance over time. In particular, the vibrations created by the rotating shaft can cause unstable operation of the turbine system and even damage it. Therefore, determining the dynamic behavior of the shaft is of great importance in terms of controlling the vibration. Excessive vibrations and instabilities can seriously affect the overall performance and structural stability of the wind turbine. This study aims to investigate numerically and experimentally the rotating shaft design with different profile sections and materials for vibration reduction in a vertical axis wind turbine system. For the tests, four shafts made of different profile

sections and materials, namely AISI 1040 Solid, AISI 4140 Solid, AISI 1040 Pipe, Carbon Fiber Reinforced Plastic (CFRP) Pipe, were manufactured. In order to understand the dynamic behavior characteristics of the shaft, which are called modal parameters, such as natural frequencies, mode shapes and structural damping, the results obtained using the Finite Element Method and Operational Deflection Shape technique were compared. The results revealed that the profile section and material properties of the rotating shaft can have a significant effect on the operational stability of the wind turbine system.

Keywords: Wind Turbine, Vibration Reduction, Finite Element Method, Operational Deflection Shape

1. GİRİŞ

Günümüzde artan nüfus, sanayileşme ve teknolojik gelişmeler, enerjiye olan ihtiyacı her zamankinden daha kritik bir noktaya taşımıştır. Bu bağlamda, çevresel zararları azaltan, sürdürülebilir ve ekonomik enerji kaynaklarına olan yönelim hız kazanmıştır. Temiz, sürdürülebilir ve ekonomik bir enerji çözümü sunan rüzgar türbinleri, rüzgarın kinetik enerjisini mekanik enerjiye dönüştürerek elektrik üretimi yoluyla artan enerji ihtiyacını karşılamaktadır (IEA (2024), 2024; Jha, 2010). Rüzgar türbinleri, dönüş eksenli olarak yatay ve dikey eksenli olarak sınıflandırılır (Johari et al., 2018). Bu sistemler içerisinde özellikle düşey eksenli rüzgar türbinleri, sessiz çalışmaları, düşük bakım gereksinimleri ve kentsel alanlara uyumlu yapıları sayesinde sürdürülebilir enerji sistemlerinde bir alternatif haline gelmiştir (Du et al., 2019; IEA (2024), 2024; Jha, 2010). Düşey eksenli rüzgar türbinleri çok çeşitli boyutlarda üretilmekte olup (Gribkov & Chizhma, 2021), özellikle küçük ölçekli modelleri, enerji üretiminde esnek ve erişilebilir bir seçenek sunmaktadır (Tjiu et al., 2015). Küçük ölçekli düşey eksenli rüzgar türbinleri, düşük kurulum maliyetleri, kompakt tasarımları ve çevresel zararların azaltılmış olması nedeniyle ev, okul, geçici yerleşim alanları, geçici çadır kentler, sahra hastaneleri, askeri kamplar, seralar ve tarımsal faaliyetler gibi geniş bir uygulama yelpazesinde kullanım imkanı sağlamaktadır. (Sunderland et al., 2013; Tasneem et al., 2020). Ancak bu sistemler, özellikle kentsel veya engebeli alanlarda karşılaşılan durağan olmayan değişken yönlü rüzgar koşullarına daha fazla maruz kalmaktadır. Bu durum rüzgar türbinin dinamik yapısında dengesizlik oluşturmaktadır. Rüzgar türbininde değişken yüklere karşı kanat ve kanat kollarının dönmesini sağlayan türbin mili sağlamaktadır. Türbin dönen mili rüzgarın enerjisi mekanik enerjiye dönüştüren önemli bileşendir (Nandi, 2014). Türbinin dönen mili kanat ve kanat kollarına gelen yükün artması, rulman yatağının arızalanması ve türbin şasesindeki yapısal hatalar dinamik performansını etkilemektedir. Bu nedenle, dönen milin dengesizliğini tespit etmek ve arızaya sebep olacak etkilerini ortadan kaldırmak türbinin çalışması için önemlidir. Rüzgar türbinini dönen milinde ve aktarma kısımlarında dinamik dengesizlikleri tespit etmek, milin dinamik yapısını anlayabilmek için çeşitli izleme teknikleri geliştirilmiştir. Bunlar arasında mil ve yataklarda aşınma analizi (Dupuis, 2010), akustik sinyal analizi (Wei & McCarty, 1993; Zhang et al., 2017), yağ analizi (Yin et al., 2003), açılma hız ölçümü ve titreşim analizi (García Márquez et al., 2012) yer almaktadır. Titreşim analizinde farklı operasyonel durum izleme teknikleri mevcuttur. Türbinlerde dinamik durum izleme teknikleri olarak, gerinim ölçer (Li et al., 2014) ile takip, lazer vibrometri ile optik nokta takibi (Ozbek et al., 2013), operasyonel modal analiz (Elkafafy et al., 2012; Tcherniak & Larsen, 2013) karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmadaki test yöntemi, türbinin çalışma durumunda operasyonel sapmalarının analizi için operasyonel sapma şekli (ODS - Operation Deflection Shape) uygulanacaktır. ODS yöntemi rüzgar türbininde mil kule dinamik tepkilerini belirlemede (Migot et al., 2023), yapısal çatlakları izlemede (Noroozi, 2012), titreşim sorunlarının tespiti (Boyadjis & Onari, 2009; Sarkar et al., 2021) gibi çalışmalarda kullanılmaktadır. Bu çalışmada, rüzgar türbininde dönen milin testi için AISI 1040 Dolu, AISI 4140 Dolu, AISI 1040 Boru, Karbon Fiber Takviyeli Plastik (CFRP - Carbon Fiber Reinforced Plastic) Boru olmak üzere farklı profil kesit ve malzemeden yapılmış dört adet mil üretilmiştir. ODS yöntemi ile dönen millerin rüzgar türbinin çalışma durumundaki dinamik tepkilerini frekansa bağlı genlik değerleri, Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT - Fast Fourier Transform) verileri elde edilmiştir. Bu verileri doğrulamak ve türbinin dönen milin çalışma durumundaki tepkisini analiz etmek için sonlu elemanlar analizi (SEA) ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada, ODS ve SEA analizleriyle incelenen dönen milin dinamik davranış karakteristiklerinin, profil kesiti ve malzeme

özelliklerinden önemli ölçüde etkilendiği tespit edilmiştir. Sonuçlar, mil tasarımının rüzgar türbininin çalışma kararlılığı üzerinde belirleyici bir rol oynayabileceğini ortaya koymuştur.

2. MATERYAL VE METOD

Düşey eksenli rüzgar türbinlerinde ODS analizi, türbinin çalışma sırasındaki titreşim hareketlerinin, yapının farklı noktalarında nasıl değiştiğini vektörel olarak ortaya koyar. Bu analiz, sistemin dinamik davranış karakteristiklerini inceleyerek, rezonans risklerini ve yapısal zayıflıkları belirlemeye imkan tanır. ODS analiz verileri, zaman ve frekans alanında yapılan ölçümler aracılığıyla elde edilebilir. Bu çalışmada, zaman alanında ölçülen titreşim verilerine FFT uygulanarak, yapının frekans alanındaki operasyonel titreşim şekilleri belirlenmiştir. Bu yöntem, sistem modeli gerektirmeden çalışan, pratik ve veri odaklı bir ODS analiz yaklaşımı sunmaktadır. Böylece sistemin titreşim kaynaklı sorunlar önceden tespit edilebilmektedir (Richardson, 1997; Schwarz & Richardson, 1999).

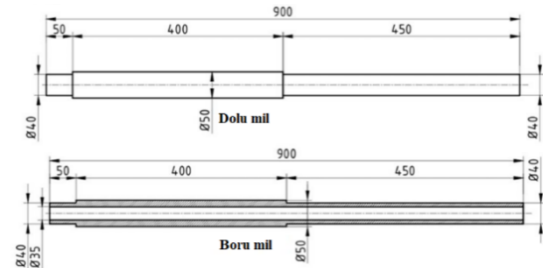
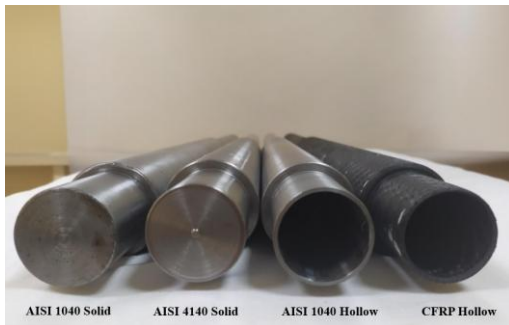
$$ODS(\omega) = FFT\{X(t)\} \quad (1)$$

$X(t)$: Zaman bağlı ölçülen sinyal (İvme, hız, yer değiştirme)

$ODS(\omega)$: Frekansa bağlı sapma

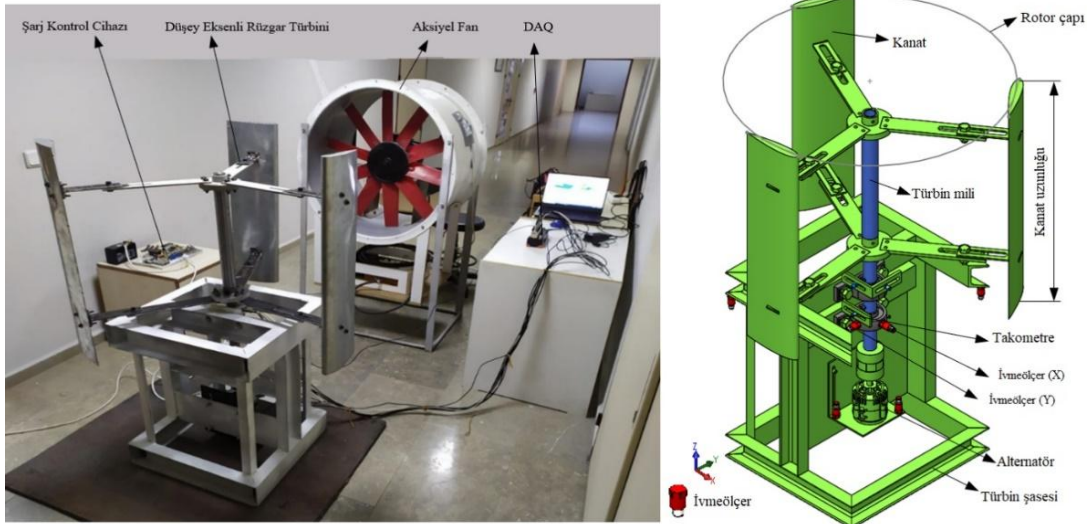
FFT : Hızlı Fourier dönüşümü işlemi

Düşey eksenli rüzgar türbini dönen milin modeli ve mil ölçüleri Şekil 1'deki gibi modellenmiş ve dört farklı mil hazırlanmıştır. Bu miller; AISI 1040 dolu, AISI 4140 dolu, AISI 1040 boru ve CFRP boru şeklindedir. Seçilen mil malzemeleri, endüstride yaygın olarak tercih edilen, dayanım ve işlenebilirlik açısından uygun mühendislik malzemeleridir. Dolu ve boru miller, CNC torna tezgahında işlenerek üretilmiştir. AISI 1040 orta karbonlu bir çelik olup, mukavemet, işlenebilirlik ve ekonomik oluşuyla öne çıkarken; AISI 4140, daha yüksek mekanik özelliklere ve aşınma direncine sahiptir. CFRP kompozit milin üretiminde ise rulo sarma yöntemi uygulanmıştır. Bu işlemde, dış çapı 35 mm olan paslanmaz çelik boru üzerine, 0,6 mm kalınlığında ve 600 gsm ağırlığında dimi örgü karbon fiber kumaş sarılmış; çap kademeli olarak 60 mm'ye çıkarılmış ve fırınlanarak torna tezgahında işlemeye hazır hale getirilmiştir. Nihai kompozit yapı, CNC torna tezgahında istenen boyutlara getirilerek teste hazır hale getirilmiştir. Mekanik özellikler bakımından, AISI 1040 ve AISI 4140 çelik türbin millerin elastik modülleri sırasıyla 200 GPa ve 205 GPa'dır. CFRP kompozit milin elastik modülü XZ düzleminde 70 GPa, YZ ve XY düzlemlerinde ise 40 GPa olarak ölçülmüştür. Malzemelerin yoğunlukları AISI 1040 için 7845 kg/m³, AISI 4140 için 7850 kg/m³ ve CFRP mil için 1283 kg/m³'tür. Poisson oranları ise AISI 1040 ve AISI 4140 için 0,29; CFRP mil için XY yönünde 0,3, XZ ve YZ yönlerinde 0,2 olarak tanımlanmıştır.



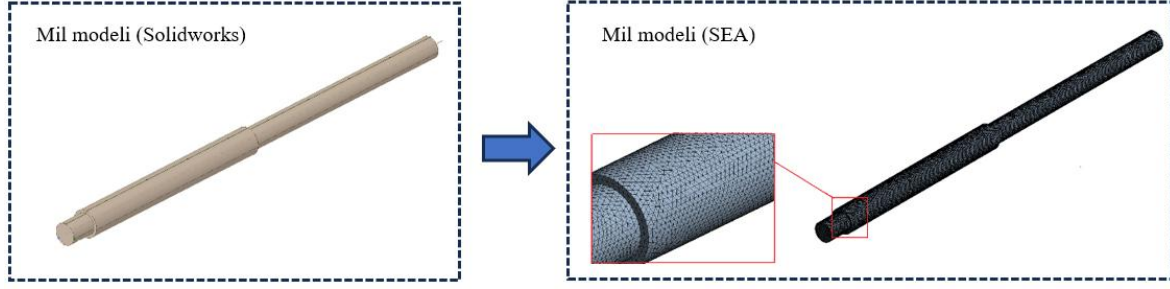
Şekil 1. Düşey eksenli rüzgar türbini mil modelleri ve ölçüleri

Düşey eksenli rüzgar türbininin çalışma koşullarında sergilediği dinamik davranış karakteristiklerinin incelenmesi amacıyla gerçekleştirilen bu çalışmada, ODS verilerini toplama ve analizi için DewesoftX donanım ve yazılımı kullanılmıştır. Türbin sistemi; çelik alaşımlı taban çerçevesi, 350 Watt kapasiteli alternatör, türbin mili, üç adet NACA0018 profilli alüminyum kanat ve rulman desteklerinden oluşmaktadır. Rotor çapı 47,5 cm olan, 0,75 m uzunluğundaki kanatlar, iki sabit bilyalı rulman (UP208) ile yataklanarak türbin miline bağlanmış; mil ise alternatöre entegre edilmiştir. Hava akışı, 1,1 m çapında ve 10 kanatlı bir rüzgar tüneli ile sağlanmış, bu sistem invertöre bağlı 3600 Watt gücündeki üç fazlı motorla çalıştırılmıştır. Rüzgar tüneli, türbin ekseninden 1,2 m uzağa yerleştirilmiştir. Türbin şasesi üzerinde Şekil 2’de gösterilen yerlere ivmeölçerler yapıştırılmıştır. Titreşim etkilerinin genellikle yatak muhafazasında belirgin hale gelmesi nedeniyle, analizlerde yatak muhafazalarının üst kısımlarına İvmeölçer (X) ve İvmeölçer (Y) yönlerinde yapıştırılan iki adet tek eksenli ivmeölçer (MMF, Model: KS78C.100) veriler kullanılmıştır. Bu yöntemle, sistem ortamlarında yer alan türbin millerin dinamik davranış karakteristikleri tespit edilmiştir. Çalışma sırasında rüzgar tüneline 5, 9, 12 m/s sabit rüzgar hızı sağlanmış ve bu hız test süresince sabit tutulmuştur. Böylece, sabit aerodinamik koşullar altında 20 saniyelik bir zaman aralığında türbin millerin doğal frekans modlarının belirlenmesi mümkün olmuştur. Testin yapısal altyapısı için, gerçek bir rüzgar türbini sistemini temsil eden üç boyutlu bir model SolidWorks 2023 yazılımı kullanılarak oluşturulmuştur. Bu model üzerinde toplam altı test noktası tanımlanmış ve sapma ölçümleri bu noktalardan elde edilmiştir. Veri toplama işlemleri sırasında, kanal başına 20000 Hz’e kadar frekans ölçüm kapasitesine sahip Dewesoft marka çok kanallı veri toplama sistemi (Krypton-8xACC) ile DewesoftX analiz yazılım paketi birlikte kullanılmıştır.



Şekil 2. Düşey eksenli rüzgar türbini ODS test düzeneği ve ivmeölçerlerin konumu

Elde edilen türbinin ODS tepkilerini kıyaslamak için SEA yardımıyla türbin milinin Şekil 3’de modal analiz yapılmıştır. Modal analiz ile türbin milinin beş moda kadar doğal frekansları Tablo 1’de gösterilmiştir. Mesh için minimum element boyutu 3 mm belirlenmiştir. AISI 1040 Dolu ve AISI 4140 Dolu millerinde element sayısı 190000~200000 arasındadır. AISI 1040 Boru ve CFRP Boru millerinde element sayısı 140000~150000 arasındadır. SEA modelleme çalışmalarında kullanılan düğüm ve eleman sayısının yeterli olup olmadığının kontrolü için oluşturulan ağ yapısının kalitesi mesh metric ile kontrol edilmiştir.



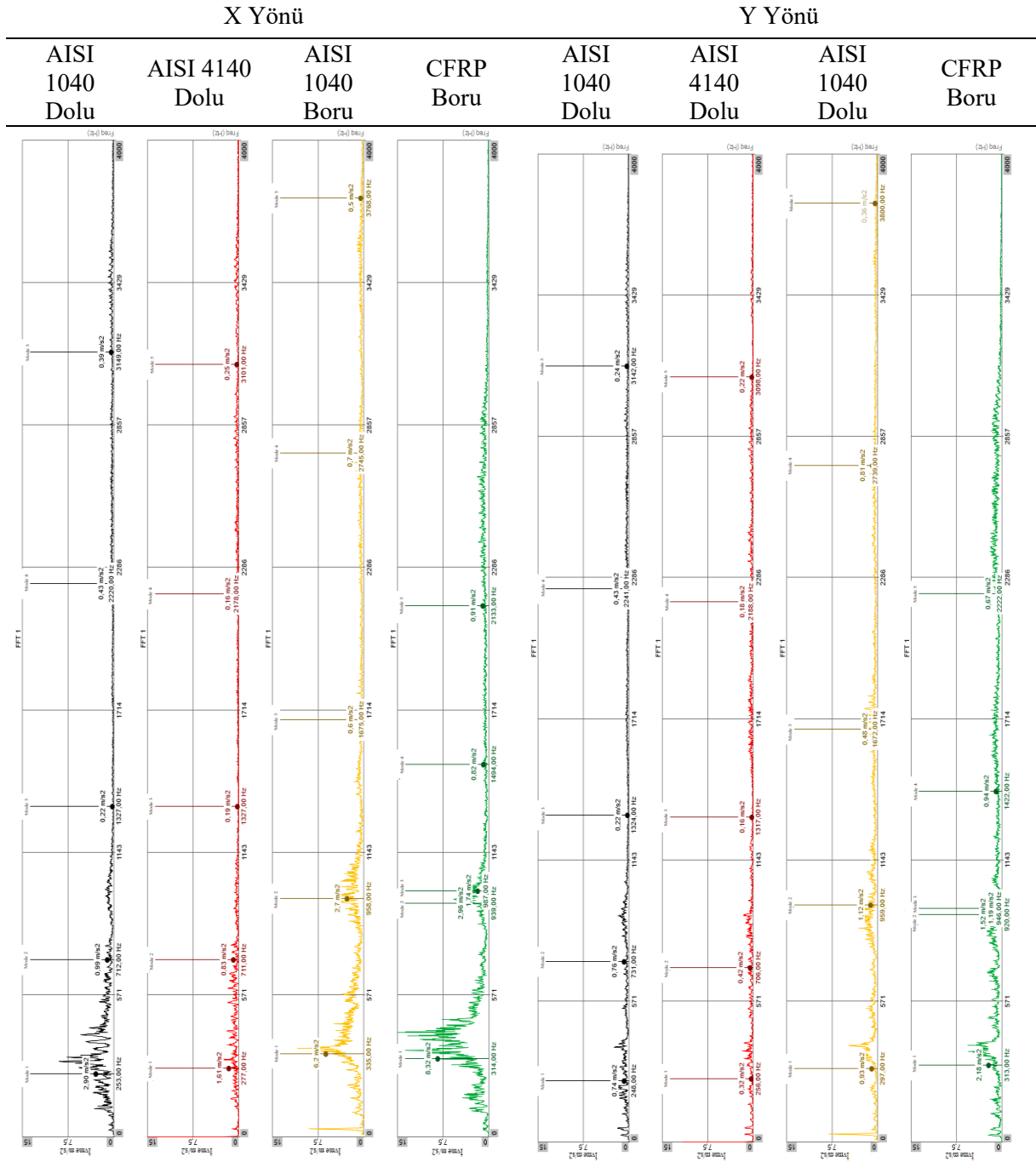
Şekil 3. SEA modelinin şematik gösterimi

Tablo 1. SEA yöntemi ile elde edilen türbin milinin doğal frekansları

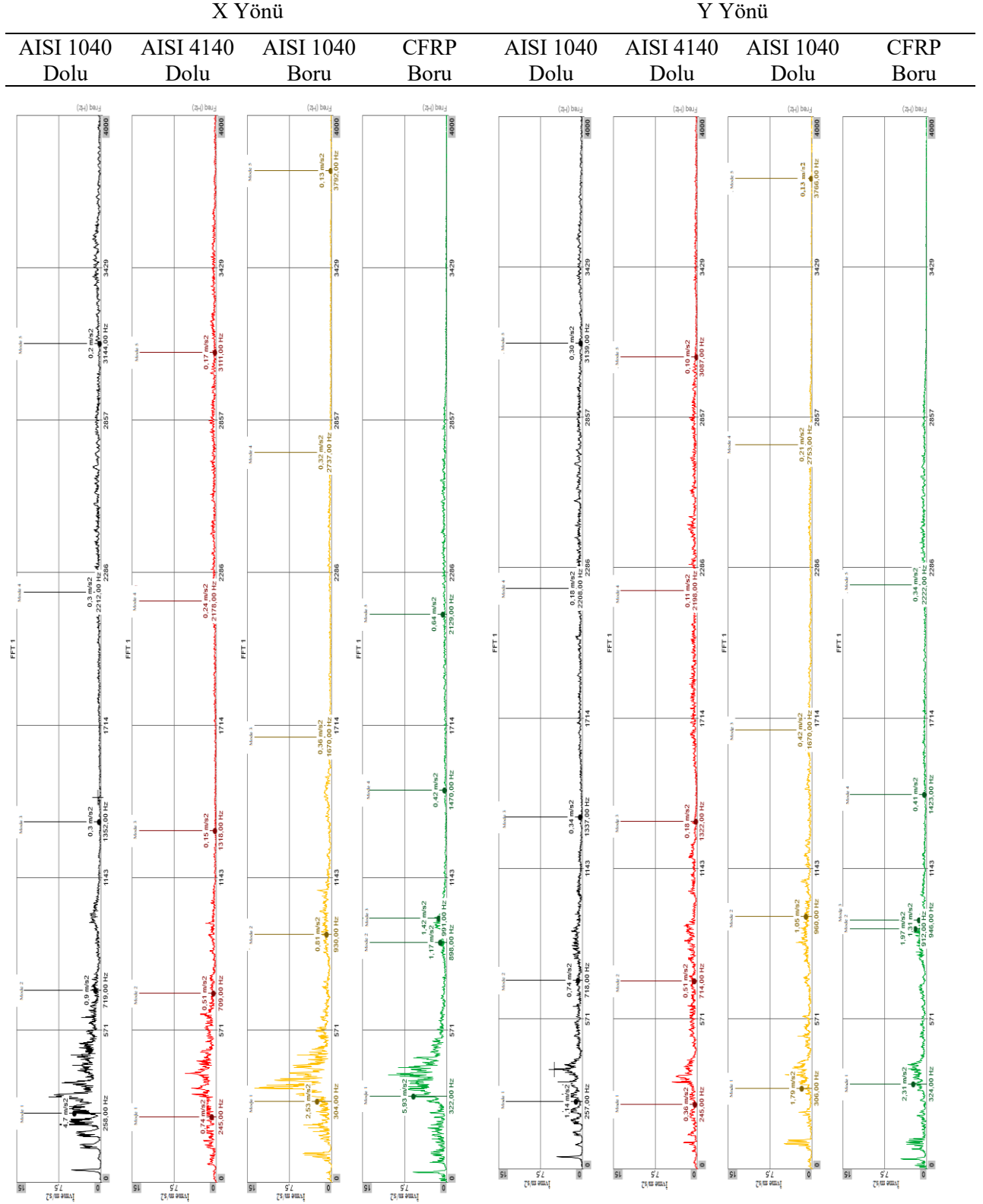
Mod	Türbin mili			
	AISI 1040 Dolu	AISI 4140 Dolu	AISI 1040 Boru	CFRP Boru
	Doğal Frekans, Hz			
1	248.1	245.1	302.9	322.7
2	718.1	709.3	953.3	888.2
3	1335.3	1319.1	1672.4	988.2
4	2205.1	2178.3	2739.5	1477.0
5	3145.5	3107.4	3785.8	2128.7

3. TARTIŞMA

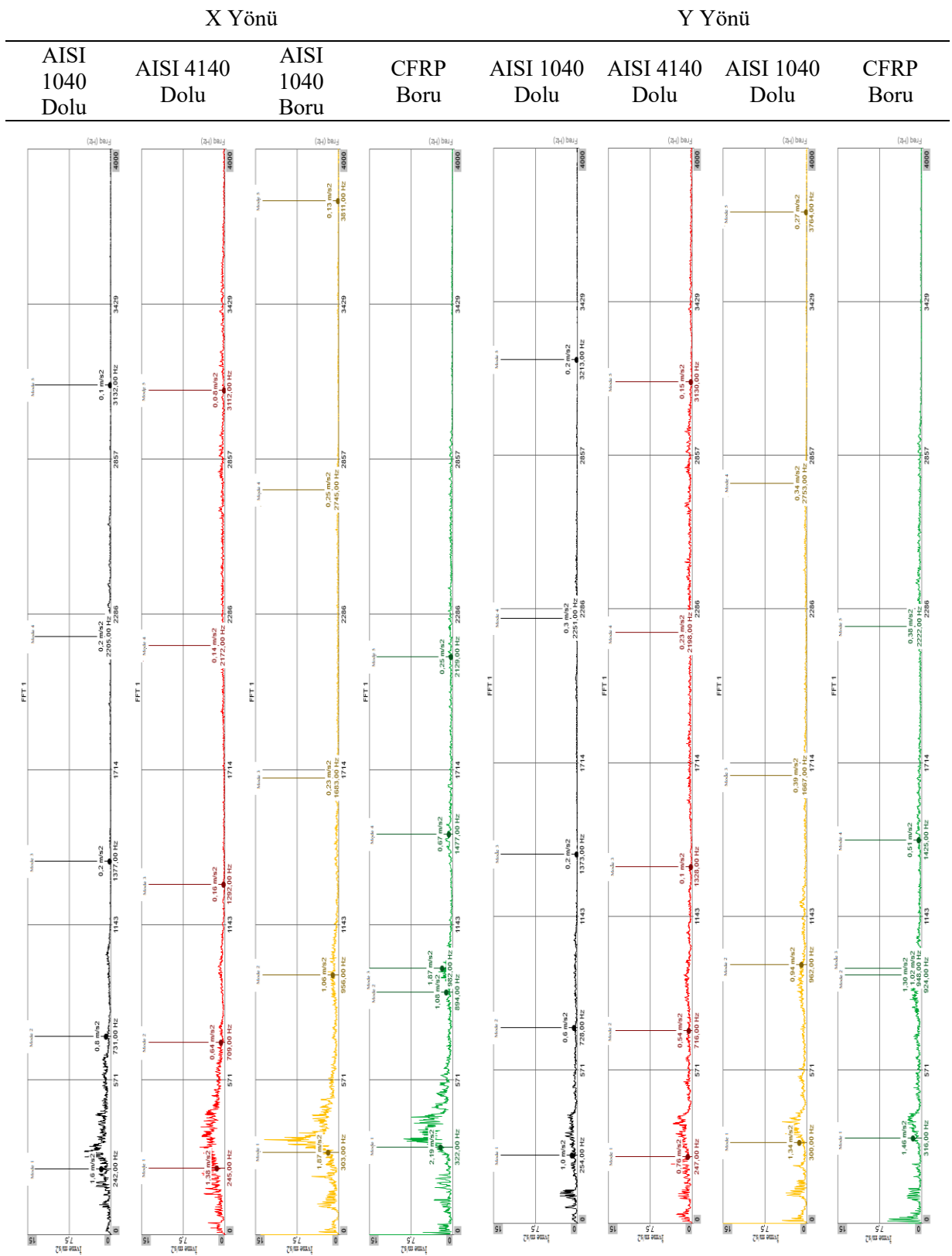
Bu çalışmada elde edilen sayısal ve deneysel bulgular, düşey eksenli rüzgar türbini sistemlerinde kullanılan dönen millerin dinamik davranış karakteristiklerinin sistem performansı üzerindeki etkisini ortaya koymaktadır. Belirlenen doğal frekans değerleri ve ODS yöntemiyle elde edilen FFT spektrum grafiği, farklı malzeme ve profil kesit geometrilerinin titreşim davranışlarını nasıl şekillendirdiğine dair önemli bilgiler sunmuştur. Her bir milinin genlik-frekans yanıtı Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6’da detaylı şekilde incelenmiş; sistem kararlılığı açısından değerlendirilmiştir.



Şekil 4. 5 m/s için FFT spektrum

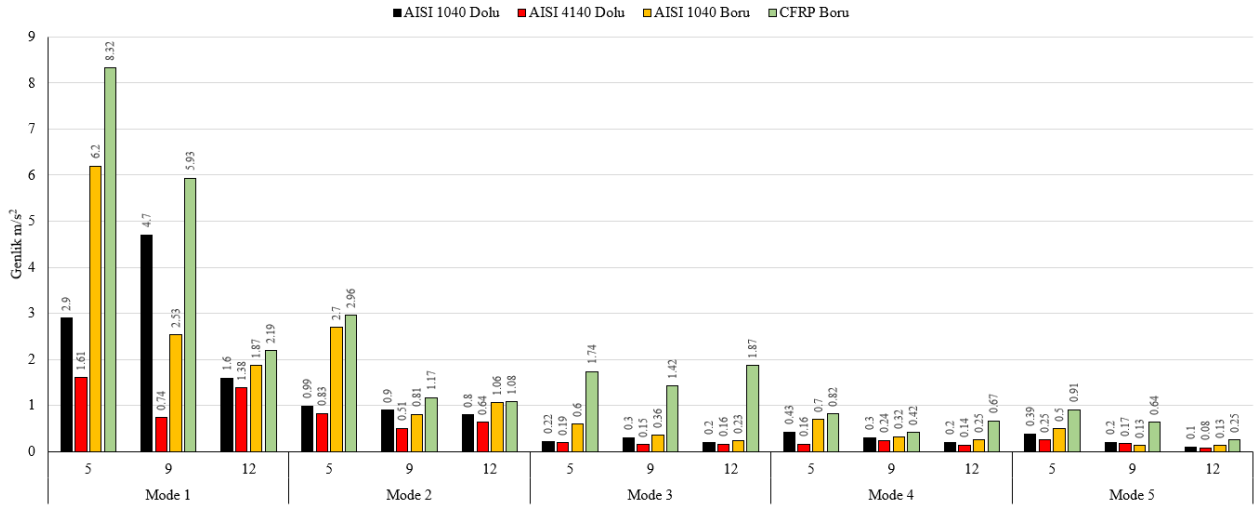


Şekil 5. 9 m/s için FFT spektrum



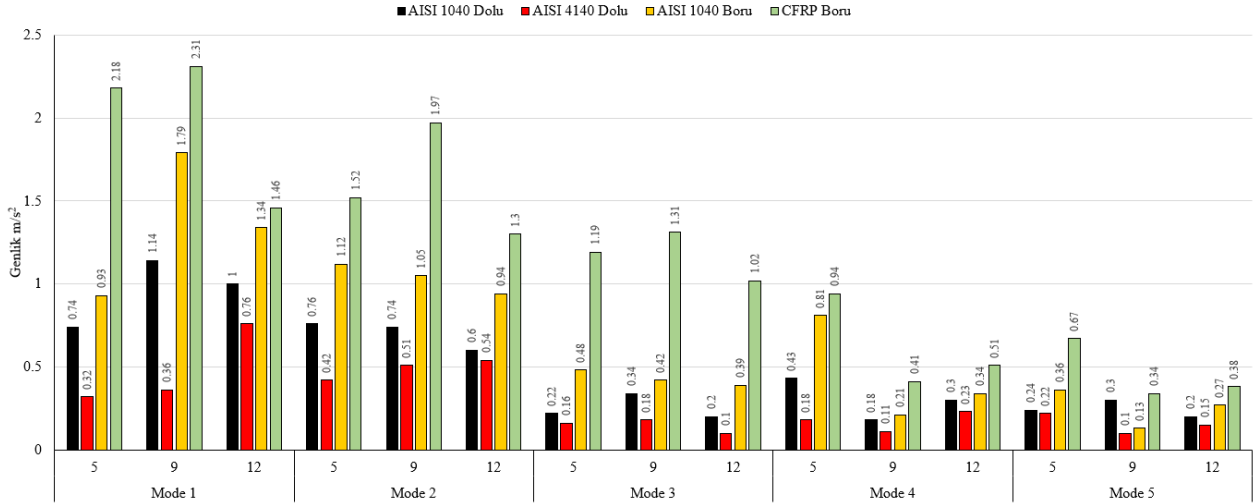
Şekil 6. 12 m/s için FFT spektrum

Rüzgar türbinin çalışma durumunda sistemin genlik değerleri karşılaştırılmasına bakıldığında Şekil 7’de çelik dolu millerin ivmeölçer (X) yönünde genliği boru tipi millerin genliğinden düşük olduğu görülmüştür. Çelik dolu millerden AISI 1040 dolu milin en yüksek genliği 5 m/s rüzgar hızında genlik değeri sırasıyla 2.9, 0.99, 0.22, 0.43 ve 0.39 m/s² çıkmıştır. 9 m/s rüzgar hızında AISI 1040 dolu milin genlik değeri sırasıyla 4.7, 0.9, 0.3, 0.3 ve 0.2 m/s² en yüksek çıkmıştır. 12 m/s rüzgar hızında genlik değeri sırasıyla 1.6, 0.8, 0.2, 0.2 ve 0.1 m/s² AISI 1040 dolu en yüksek çıkmıştır. Sistemin en yüksek genliği boru tipi millerde ivmeölçer (X) yönünde CFRP Boru türbin milinin 5 m/s rüzgar hızında genlik değeri sırasına göre genlik değerleri sırasıyla 8.32, 2.96, 1.74, 0.82 ve 0.91 m/s² çıkmıştır. Aynı şekilde 9 m/s rüzgar hızında da CFRP boru milinde 5.93, 1.17, 1.42, 0.42 ve 0.64 m/s² en yüksek çıkmıştır. 12 m/s rüzgar hızında genlik değeri genlik değeri mod sırasına göre CFRP boru milinin 2.19, 1.08, 1.87, 0.67 ve 0.25 m/s² en yüksek çıkmıştır. Belirlemiş olan rüzgar hızlarında en yüksek CFRP boru milinin genlik değeri en yüksek çıkmıştır. Dolu tipi millerde AISI 1040 dolu, boru tip millerde CFRP boru mil genliği yüksek çıkmıştır. Bütün miller içinde belirlenen rüzgar hızlarında genliği en düşük AISI 4140 Dolu mili çıkmıştır.



Şekil 7. X yönünde genlik değerleri

Türbinin ivmeölçer (Y) yönünde genlik değerleri şekil 8’de karşılaştırıldığında boru ve dolu millerde en yüksek genlik değeri sırasıyla 5 m/s rüzgar hızında 2.18, 1.52, 1.19, 0.94 ve 0.67 m/s² CFRP boru mil çıkmıştır. 9 m/s rüzgar hızında genlik değeri sırasıyla 2.31, 1.97, 1.31, 0.41 ve 0.34 m/s² en yüksek CFRP boru mil çıkmaktadır. 12 m/s rüzgar hızında sistemin en yüksek genliği CFRP boru mil sırasıyla 1.46, 1.3, 1.02, 0.51 ve 0.38 m/s² çıkmaktadır. Çelik dolu millerde ise 5 m/s rüzgar hızında AISI 1040 dolu mil sırasıyla 0.74, 0.76, 0.22, 0.43 ve 0.24 m/s² çıkmıştır. 9 m/s rüzgar hızında AISI 1040 dolu mil sırasıyla 1.14, 0.74, 0.34, 0.18 ve 0.3 m/s² çıkmıştır. 12 m/s rüzgar hızında da AISI 1040 dolu mil sırasıyla 1, 0.6, 0.2, 0.3 ve 0.2 m/s² çıkmıştır. Boru tipi millerde CFRP boru mil en yüksek, çelik malzeme dolu millerde AISI 1040 dolu mil en yüksek çıkmaktadır. Genel olarak yüksekte düşüğe göre genlik değerlerine göre sıralandığında CFRP boru, AISI 1040 boru, AISI 1040 dolu ve AISI 4140 dolu mil gözükmektedir.



Şekil 8. Y yönünde genlik değerleri

İvmeölçer (X) yönündeki genlik değerleri, ivmeölçer (Y) yönündeki genlik değerlerinde genel olarak yüksek çıkmıştır. X yönündeki genlik değerleri rüzgara karşı dik gelen kuvvetten dolayı dinamik tepkisi yüksek olmuştur.

4. SONUÇ

Rüzgar türbinin dönen milinin çalışma durumundaki titreşim davranışı sistemin verimli çalışması açısından önemli rolü vardır. Rüzgar türbini sistemindeki genel titreşim içinde dönen milinin aşırı titreşiminin değerlendirmesini elde etmek için ODS metodu uygulanmıştır. Deneylerde farklı geometri ve malzemeye sahip dört dönen mil (AISI 1040 Dolu, AISI 4140 Dolu, AISI 1040 Boru ve CFRP Boru) test edilmiştir. Hem SEA hem de ODS'den elde edilen sonuçlar, millerin dinamik özelliklerini açıklamak için ilişkilendirilmiştir. SEA, millerin doğal frekans özelliklerini belirlerken, ODS millerin çalışma koşullarındaki dinamik davranış karakteristikleri ölçülmüştür. CFRP boru milin dinamik tepkisi AISI 1040 Dolu, AISI 1040 Boru ve AISI 4140 Dolu milden yüksek bulunmuştur. Türbin milinin yapısının geometrisi ve malzemesiyle ilgili sönümlenme kabiliyeti, belirli bir frekansta rezonansa girebilen bir rüzgar türbini sisteminde arzu edilen bir özelliktir. Yüksek sönümlenme oranı, rezonans titreşim genliğini en aza indirme eğilimindedir. Sönümlenmeyi etkileyen birçok faktör olmasına rağmen, dönen türbin milinin geometrisi ve malzeme seçimi, rüzgar türbini sisteminde mildeki aşırı titreşim seviyelerinin azaltılmasında önemli bir rol oynayabilir. Böylece, rüzgar türbini sistemindeki aşırı titreşim oluşumu önlenerek rüzgar türbini sisteminin performansı ve ömrü artırabileceği ve dönen mil geometrisinin ve malzeme özelliklerinin rüzgar türbini sisteminin kararlılığı üzerinde önemli bir etkiye sahip olabileceği görülmüştür.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Bilimsel Araştırma Projesi (BAP) Koordinasyonu tarafından finansal olarak desteklenmiştir.

Düzce Üniversitesi Birimi (Proje Numarası: 2022.06.05.1279).

KAYNAKÇA

- Boyadjis, P. A., & Onari, M. M. (2009). *Solving Structural Vibration Problems Using Operating Deflection Shape (ODS) And FEA: Part I & Part II*.
<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:116465585>.
- Du, L., Ingram, G., & Dominy, R. G. (2019). A review of H-Darrieus wind turbine aerodynamic research. In *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science* (Vol. 233, Issues 23–24, pp. 7590–7616).
<https://doi.org/10.1177/0954406219885962>.
- Dupuis, R. (2010). Application of oil debris monitoring for wind turbine gearbox prognostics and health management. In *Annual Conference of the Prognostics and Health Management Society, PHM 2010*. <https://doi.org/10.36001/phmconf.2010.v2i1.1867>.
- Elkafafy, M., Devriendt, C., De Sitter, G., De Troyer, T., & Guillaume, P. (2012). *Damping estimation of offshore wind turbines using state-of-the art operational modal analysis techniques*.
- García Márquez, F. P., Tobias, A. M., Pinar Pérez, J. M., & Papaelias, M. (2012). Condition monitoring of wind turbines: Techniques and methods. *Renewable Energy*, 46, 169–178.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.03.003>.
- Gribkov, S. V., & Chizhma, S. N. (2021). Vertical-axis wind turbines. Design technique. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 689(1), 12020.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/689/1/012020>.
- IEA (2024). (2024). <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2024>.
- Jha, A. R. (2010). Wind turbine technology. In *Wind Turbine Technology* (pp. 1–261).
<https://doi.org/10.1201/9781439815076>.
- Johari, M. K., Jalil, M. A. A., & Shariff, M. F. M. (2018). Comparison of horizontal axis wind turbine (HAWT) and vertical axis wind turbine (VAWT). In *International Journal of Engineering and Technology(UAE)* (Vol. 7, Issue 4, pp. 74–80). <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.13.21333>.
- li, H., Zhou, W., & Xu, J. (2014). Structural Health Monitoring of Wind Turbine Blades. In *Advances in Industrial Control* (pp. 231–265). https://doi.org/10.1007/978-3-319-08413-8_9.
- Migot, A., Naser, H., Uгла, A., & Giurgiutiu, V. (2023). Investigations of Fatigue Crack Detection Using Local Vibration Techniques: Numerical and Experimental Studies. *Journal of Nondestructive Evaluation*, 42. <https://doi.org/10.1007/s10921-023-00922-4>.
- Nandi, S. K. (2014). Designing of a Small Scale Vertical Axis Wind Turbine & Its Performance Analysis in Respect of Bangladesh. *International Journal Of Renewable Energy Research*, 4(4), 977–985.
- Noroozi, S. (2012). *Dynamic Design Verification (DDV) of vertical pump using, combined Modal Analysis (MA), Finite Element Analysis (FEA) & Operation Deflection Shape (ODS)*.
<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:207986534>.
- Ozbek, M., Meng, F., & Rixen, D. J. (2013). Challenges in testing and monitoring the in-operation vibration characteristics of wind turbines. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 41(1), 649–666. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2013.07.023>.
- Richardson, M. H. (1997). Is it a mode shape, or an operating deflection shape? In *S V Sound and Vibration* (Vol. 31, Issue 1, pp. 54–61).
- Sarkar, M. R., Julai, S., Nahar, M. J., Uddin, M., Rahman, M., & Tanshen, M. R. (2021). Experimental Study of Vertical Axis Wind Turbine Performance under Vibration. *International Journal of Robotics and Control Systems*, 1(2), 177–185. <https://doi.org/10.31763/ijrcs.v1i2.335>.
- Schwarz, B., & Richardson, M. H. (1999). *INTRODUCTION TO OPERATING DEFLECTION SHAPES* By. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:18641075>.
- Sunderland, K., Woolmington, T., Blackledge, J., & Conlon, M. (2013). Small wind turbines in turbulent (urban) environments: A consideration of normal and Weibull distributions for power prediction. In *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* (Vol. 121, pp. 70–81). <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2013.08.001>.
- Tasneem, Z., Al Noman, A., Das, S. K., Saha, D. K., Islam, M. R., Ali, M. F., R Badal, M. F., Ahamed, M. H., Moyeen, S. I., & Alam, F. (2020). An analytical review on the evaluation of wind resource and wind turbine for urban application: Prospect and challenges. In *Developments in the Built Environment* (Vol. 4). <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2020.100033>.

- Tcherniak, D., & Larsen, G. (2013). Application of OMA to an operating wind turbine: Now including vibration data from the blades. *5th International Operational Modal Analysis Conference, IOMAC 2013*.
- Tjiu, W., Marnoto, T., Mat, S., Ruslan, M. H., & Sopian, K. (2015). Darrieus vertical axis wind turbine for power generation II: Challenges in HAWT and the opportunity of multi-megawatt Darrieus VAWT development. *Renewable Energy*, 75, 560–571.
- Wei, J., & McCarty, J. (1993). Acoustic emission evaluation of composite wind turbine blades during fatigue testing. In *Wind Engineering* (Vol. 17, Issue 6, pp. 266–274). [https://doi.org/10.1016/s0963-8695\(97\)85537-5](https://doi.org/10.1016/s0963-8695(97)85537-5).
- Yin, Y., Wang, W., Yan, X., Xiao, H., & Wang, C. (2003). An integrated on-line oil analysis method for condition monitoring. In *Measurement Science and Technology* (Vol. 14, Issue 11, pp. 1973–1977). <https://doi.org/10.1088/0957-0233/14/11/015>.
- Zhang, Y., Lu, W., & Chu, F. (2017). Planet gear fault localization for wind turbine gearbox using acoustic emission signals. In *Renewable Energy* (Vol. 109, pp. 449–460). <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.03.035>.

EXPERIMENTAL AND NUMERICAL INVESTIGATION THE EFFECTS OF A SHAFT WITH DIFFERENT GEOMETRY ON VIBRATION REDUCTION IN VERTICAL AXIS WIND TURBINE SYSTEM

Öğr. Gör. Samet SARIOĞLU

Zonguldak Bülent Ecevit University / Alaplı Vocational School, Mechanical Department
samet.sarioglu@beun.edu.tr, ORCID: 0000-0001-9157-9035

Prof. Dr. Hamit Saruhan

Düzce University / Faculty of Engineering / Mechanical Engineering Department
hamitsaruhan@duzce.edu.tr, ORCID: 0000-0002-6428-8117

Abstract

Wind turbines that convert the kinetic energy of wind into electrical energy are increasingly important source of renewable energy. They are designed and manufactured in a wide range of sizes. Small wind turbines may be used for a wide variety of applications including small business, houses, schools, temporary tent cities, field hospitals, military camps, greenhouses, and agriculture. Small size wind turbines are more exposed to non stationary wind. This may cause resonant conditions with the wind turbine structure excessive vibration that results failure of the wind turbine system. It is important to reduce vibration in the wind turbine shaft so that it can be avoid vibration transformation on the wind turbine system. Thus, reducing vibration are one of the solution to maximize power production and preventing failure of wind turbine systems. Wind turbines are categorised as horizontal and vertical axis as the axis of rotation. This study aims to experimentally and numerically investigate the effects of a shaft with different geometry on vibration reduction characteristics for a small size vertical axis wind turbine system under different wind conditions. Two shafts with different profile cross section area, AISI 1040 Solid and AISI 1040 Hollow, were manufactured and tested. For understanding the dynamic characteristics of the shaft in terms of modal parameters namely called the natural frequencies, mode shapes, and structural damping were identified and quantified using the Experimental Modal Analysis (EMA) method and the Finite Element Method (FEM). Also, Order Analysis (OA) was also performed at wind velocities of 5, 9, and 12 m/s generated by wind tunnel to explore further understanding the dynamic characteristics of the shafts. From overall results, the vibration amplitude value of the AISI 1040 Hollow shaft was found to be lower than that of the AISI 1040 Solid and the damping ratio of the AISI 1040 Hollow shaft was found to be greater. The results showed that geometric property of the shaft has a big effect in terms of vibration amplitude values and damping in the wind turbine system.

Keywords: Wind turbine, Shaft, Vibration Reduction, Experimental Modal Analysis, Finite Element Method, Order Analysis

1. INTRODUCTION

Wind energy has increased interest in renewable energy in line with the aims of mitigating climate change problems and reducing dependence on fossil fuels. This increasing interest in the world has led many countries to develop technologies based on renewable energy sources in order to produce clean and inexhaustible energy to meet the ever-increasing energy demands (APERC 2001; Walker and Swift 2015). The renewable energy technologies such as wind turbine technologies are becoming more and more popular today. This requirement is partly met by the use of large-scale wind turbines on open land and seas away from the city. Wind turbines are categorised as horizontal and vertical axis as the axis of rotation (Zhang et al. 2018). Large size horizontal axis wind turbine (HAWT) is used in industrial commercial applications. The efficiency of the HAWT is low in city areas due to the difficulty of power plant maintenance, the complexity of controlling deviation movements, and the blades must always be vertically perpendicular to the wind direction (Du, Ingram, and Dominy 2019; Johari, Jalil, and Shariff 2018; Tasneem et al. 2020). Vertical axis wind turbines (VAWT), one of the small size wind turbines, are advantageous in urban areas due to their ease of installation and use, noiseless operation, and variable wind speeds from all directions (Castellani et al. 2019; Fleck and Huot 2009; Zuo, Bi, and Hao 2020).

Applications of small wind turbines range from individual homes and schools to military camps, temporary settlements, agricultural lands, and greenhouse facilities (Al-Bahadly 2009). With its advantages and low cost, it is seen that its preferability is increasing (Islam, Ting, and Fartaj 2008). Mechanical instability, excessive wind loads, blade types dynamically affect the operation of the VAWT turbines. Small size wind turbines are more exposed to non stationary wind. This may cause resonant conditions with the wind turbine structure excessive vibration frequencies that results failure of the wind turbine system. It is important to reduce vibration in the wind turbine shaft so that it can be avoid vibration transformation on the wind turbine system. Thus, reducing vibration are one of the solution to maximize power production and preventing failure of wind turbine systems. Extensive literature is available on the performance of the wind turbines in terms of the design and quality of propellers, gears, and bearings. In the literature, the dynamic response of the VAWT gear transmission system is investigated at different blade numbers in a wind turbine connected to a single-stage spur bevel gear system of the turbine rotor shaft. Increasing the number of blades has a positive effect on the dynamic robustness (Mabrouk et al. 2017). A vibration isolation methodology has been carried out under two different support end conditions of the shaft of a small size wind turbine in urban areas. It was found that the supporting conditions affect the natural frequency of the turbine and change the resonance critical speed operating range (McLaren, Tullis, and Ziada 2012). When instant condition monitoring is performed on the turbine, it is stated that the risk of failure is low since the VAWT does not need intermediate shaft systems such as the HAWT (Kotulski and Jablonski 2018). The structural health monitoring method was applied by installing the VAWT on the building, and it was observed that the natural frequency of the building had little effect on the resonance of the tower in the operating state of the turbine (Wang et al. 2018). Also, it was found that the blade rotation speed causes high amplitudes in the turbine. The modal analysis method was applied on the composite blades of wind turbine (Tarfaoui et al. 2012). Natural frequencies and mode shapes were determined using Finite Element Method (FEM) and it was found that the critical resonance of the system was not reached (Karthik Vel and Nadaraja Pillai 2024). In vibration reduction, two different blade forms were applied to reduce the dynamic imbalances of the turbine. The gear system connected to the rotor shaft of the wind turbines, the vibration responses taken from the rolling bearings were studied in the time frequency domain (Srikanth and Sekhar 2016; Staino and Basu 2013; Zhu et al. 2015). In order to understand the dynamic properties of the turbine and turbine elements, the natural frequency, damping ratio and mode shapes can be determined using the FEM and experimental modal analysis methods (EMA) (Teter and Gawryluk 2016). Although extensive literature is available on the performance of the wind turbines in terms of the design and quality of propellers, gears, and bearings, the best of authors' knowledge, no study has been found so far either experimentally nor numerically to investigate the effects of a shaft with different geometries on vibration reduction characteristics in wind turbine systems. This study aims to experimentally and numerically investigate the effects of a shaft with different cross section geometry on vibration reduction characteristics in a small size vertical axis wind turbine system under different wind conditions.

2. EXPERIMENTAL SETUP

Two shafts with different geometric property in terms of profile cross section area, AISI 1040 Solid and AISI 1040 Hollow, were manufactured and tested. The AISI 1040 is an ideal material for many industrial applications such as shafts, gears, and other components in machinery due to its good strength, wear resistance, and machinability. For understanding the dynamic characteristics of the shaft, modal parameters namely called the natural frequencies, mode shapes, and structural damping were identified and quantified using the Experimental Modal Analysis (EMA) method and the Finite Element Method (FEM). The geometry and dimensions of the shafts used in this study are given in Figure 1.

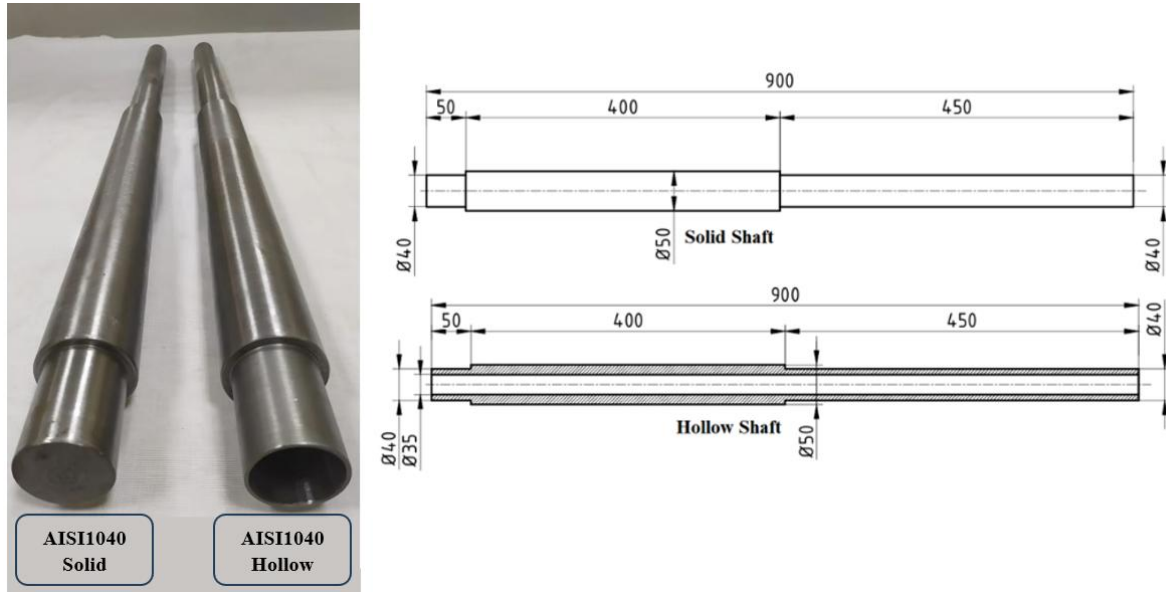


Figure 1. The geometry and dimensions of the shafts

The EMA was performed to have better understanding of the dynamic characteristics namely modal parameters such as natural frequencies, mode shapes and damping of the shafts. The test setup depicted in Figure 2 was used to perform experiments on all shaft samples. Each shaft was supported softly at two locations using flexible elastic ropes to provide a suspension system, which closely approximate a free-free boundary condition. Initial trail tests were used to determine proper position of excitation and response points. From the trail tests by the EMA, ten equally distance testing excitation points and one response point (ACC) are determined and marked on the shaft. Each test was performed with four impacts average response spectrum of the impact hammer force. The excitation of the shaft was provided via a force transducer, namely called modal impact hammer (Type: Dytron, Model: 58001B3T) with steel type hammer tip (Model: 6250A), at all predefined points from point 1 to point 10. The response data was collected using one uniaxial accelerometer (MMF Type, Model: KS78C.100) having frequency range response from 0.5 Hz to 20 kHz attached to the shaft at point ACC. The accelerometer response position at point ACC was fixed and used as the reference and the impact hammer was moved around the other points from point 1 to point 10 to excite the shaft and to obtain modal parameters within the measured frequency up to 4000 Hz.

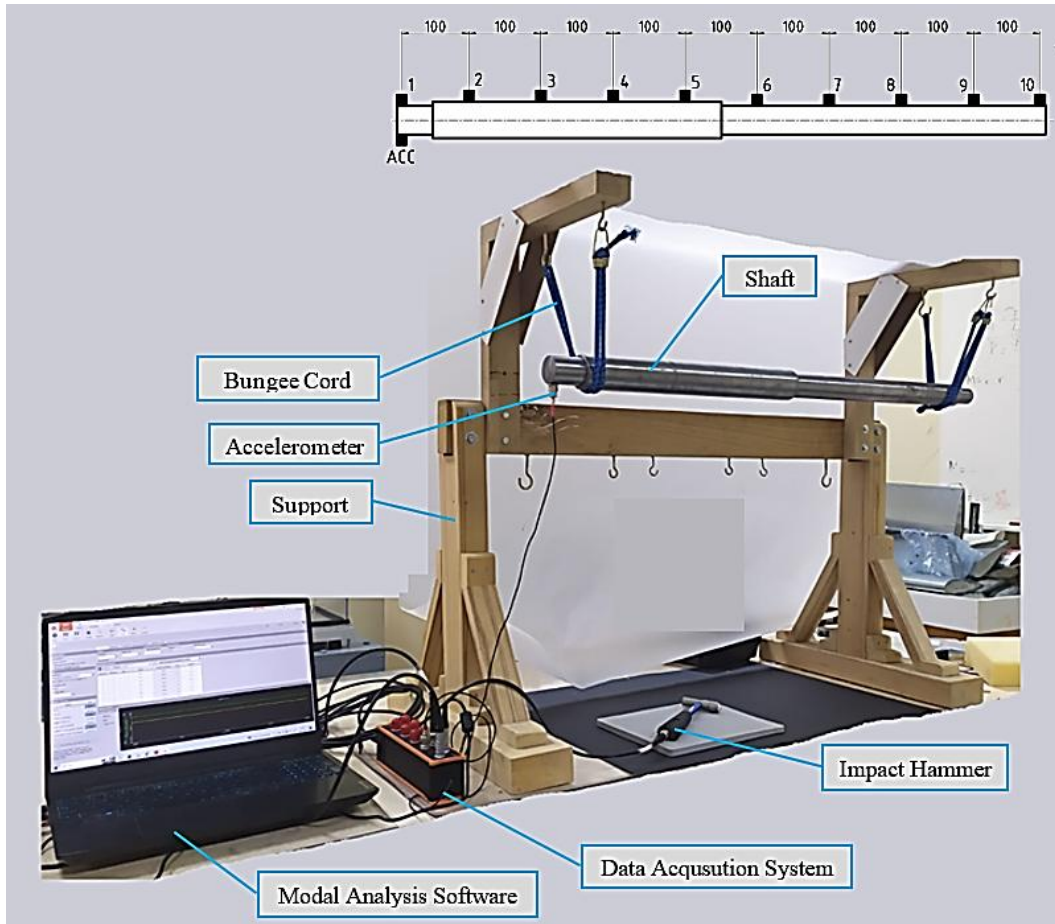


Figure 2. Test Apparatus for the EMA

The FEM was used to validate the accuracy and the reliability of the results obtained. The shaft model was generated using Solidworks commercial software and analysed for EMA and FEM as shown in Figure 3 to understand the dynamic characteristics of the shaft.

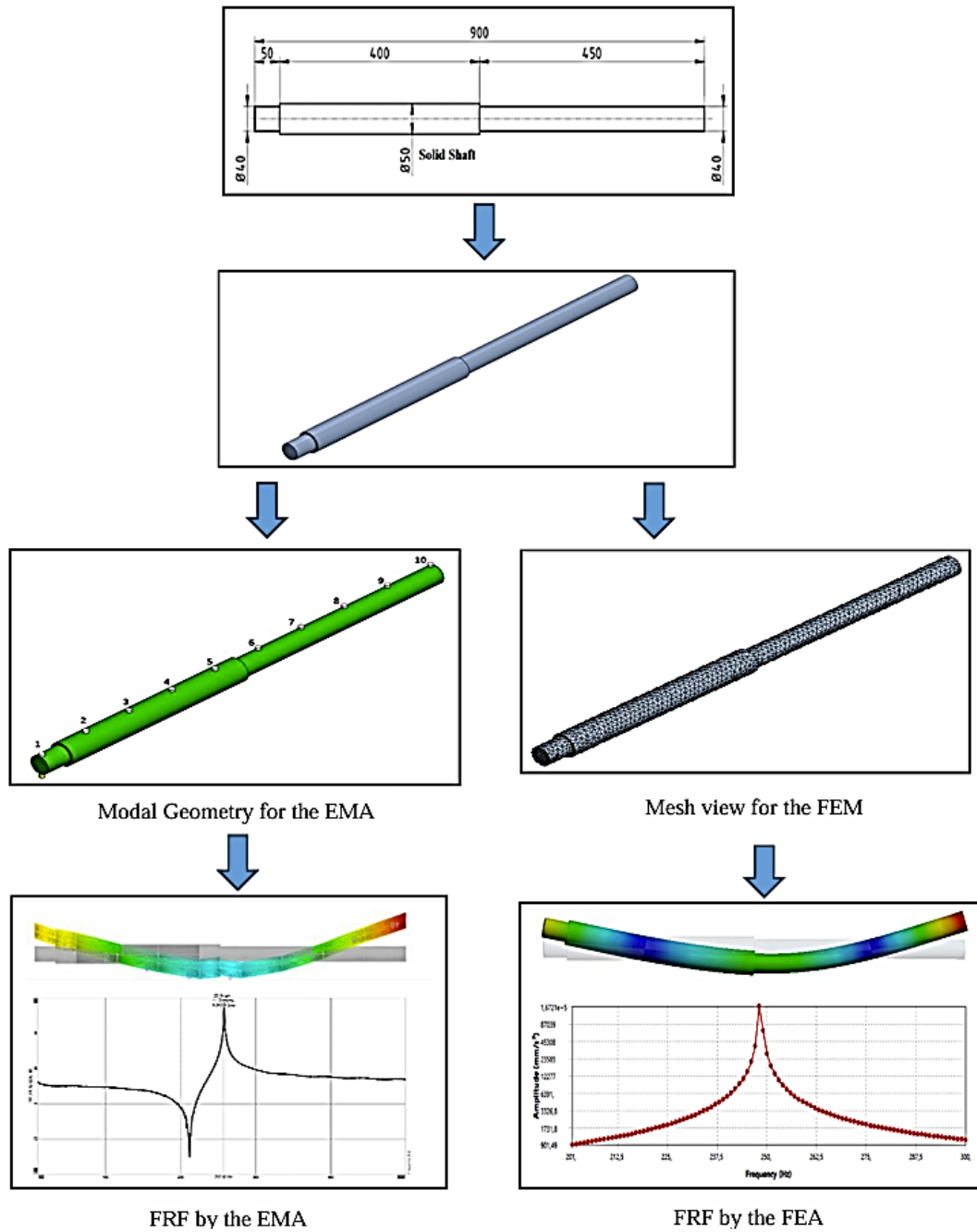


Figure 3. The shaft model for the EMA and the FEM

The Order Analysis (OA) technique was utilized for obtaining additional assessment of excessive vibration of the shafts within overall vibration on the wind turbine system at operating condition. Since the vibration in the shaft often manifests itself at the bearing housing where accelerometers are attached to the top of bearing housing in X and Y directions, the excessive levels of vibration were measured and detected at two locations on the bearing housing using two uniaxial accelerometers (MMF Type, Model: KS78C.100) to see the dynamic characteristics of each of the shafts within environments of the wind turbine system. A remote optical laser sensor (Monarch Type, Model: ROLS24-W) called tachometer which is synchronized with the rotational speed (rpm) of the shaft and reflective sticker on the shaft were used to measure the shaft rpm. Figure 4 shows the schematic drawing of the small size vertical axis wind turbine and the wind tunnel. The wind turbine mainly consists of base frame, three propellers, shaft, and bearings. The base frame is constructed with steel alloy. Each propeller having profile of NACA0018 and length of 0.75 m is made of aluminum alloy and wrapped around the shaft, which is

supported by two roller bearings. The shaft with propellers is driven by the wind tunnel. The wind tunnel having diameter of 1.1 meters with a single staged ten-blades is set 1.2 meters far from the wind turbine for generating airflow to drive the wind turbine. The wind tunnel is driven by a 3600 W three-phase motor with speed control by an energy inverter. The wind tunnel was started with low wind velocity and allowed to stabilize at the constant wind velocities of 5, 9, and 12 m/s, then a data from X and Y points were taken. A Dewesoft brandmark multichannel Data Acquisition (DAQ) device (Krypton-8xACC) able to measure frequency up to 20 kHz per channel and analysis software package DewesoftX were used during the data collection for the EMA and the OA.

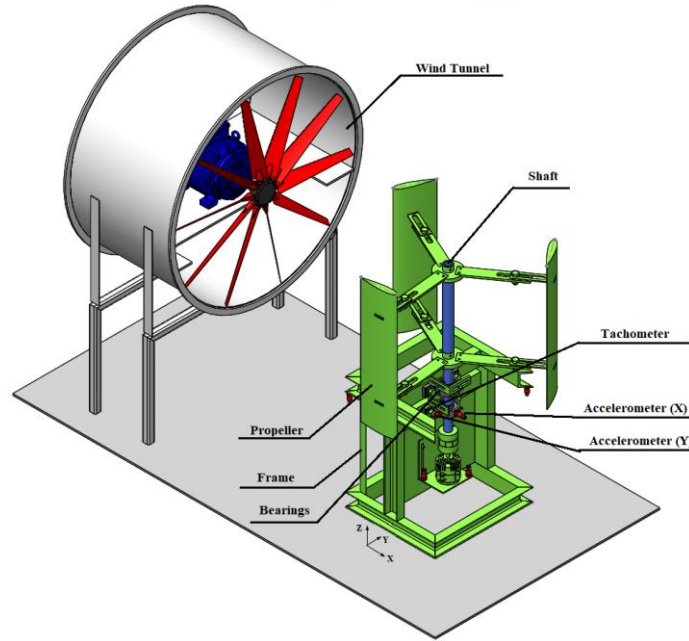


Figure 4. Schematic drawing of the vertical axis wind turbine and the wind tunnel

3. RESULTS AND DISCUSSION

The Frequency Response Function (FRF) plots are used to measure and characterize the dynamic behavior of the shaft in terms of modal parameters, namely called the natural frequencies, mode shapes, and structural damping. The FRF plots of point 2 from the EMA and the FEM given in Figure 5 are used to identify the natural frequencies and further used to calculate model damping and mode shapes of the shafts. It is important to know the natural frequencies of the shafts so that it helps to avoid resonance, hence the failure of the wind turbine system. It can be seen in the FRF plots, the five dominant peaks indicate the excited natural frequencies appear clearly at frequencies 258, 740.4, 1373.01, 2257, and 3213 Hz for the AISI 1040 Solid shaft and 308.4, 960.5, 1670.1, 2753.4, and 3768.5 Hz for the AISI 1040 Hollow shaft respectively by the EMA and 248.1, 718.1, 1335.3, 2205.1, and 3145.5 Hz for the AISI 1040 Solid shaft and 302.9, 953.3, 1672.4, 2739.5, and 3785.8 Hz for the AISI 1040 Hollow shaft respectively by the FEM.

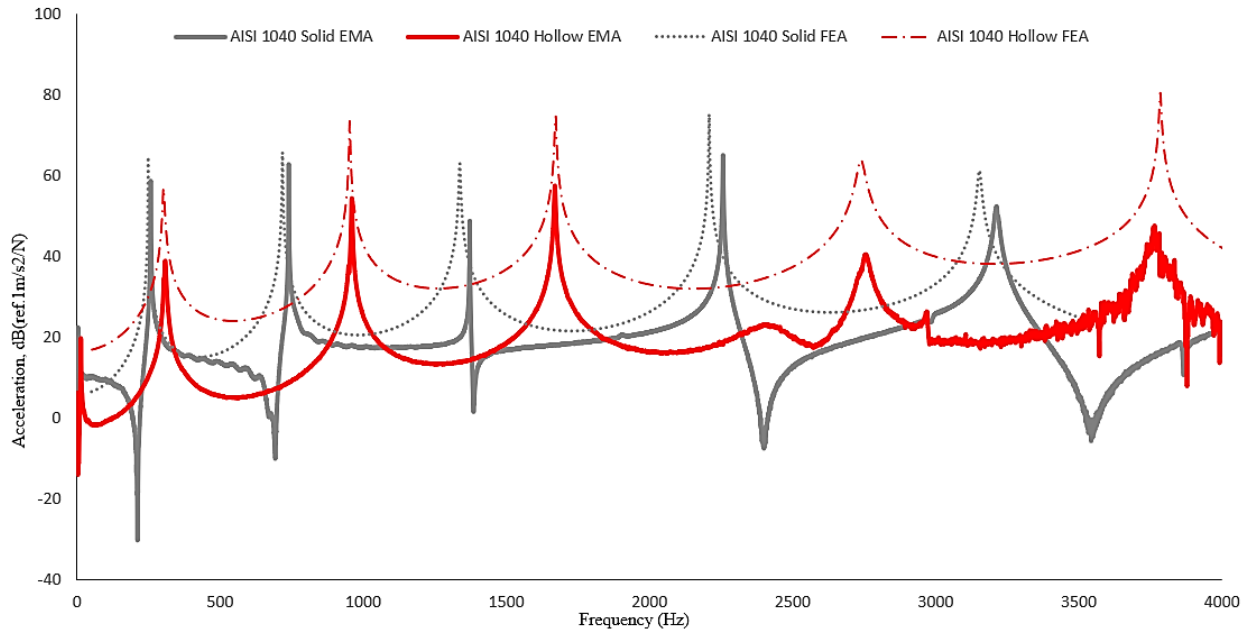


Figure 5. The FRF plots by the EMA

The results obtained by the EMA were verified using FEM. For comparison, the EMA tests are considered less accurate while the FEM predictions considered closest to the true representation of the shaft because of many geometrical uncertainties involved due to manufacturing of the shafts. Thus, neglecting of uniform mass distribution due to manufacturing may result in the actual shaft structure that is not dynamically similar to the shaft model structure. However, the low percentage of difference between natural frequencies obtained by the EMA and the FEM implies that attained results are of desirable accuracy as shown in Figure 6.

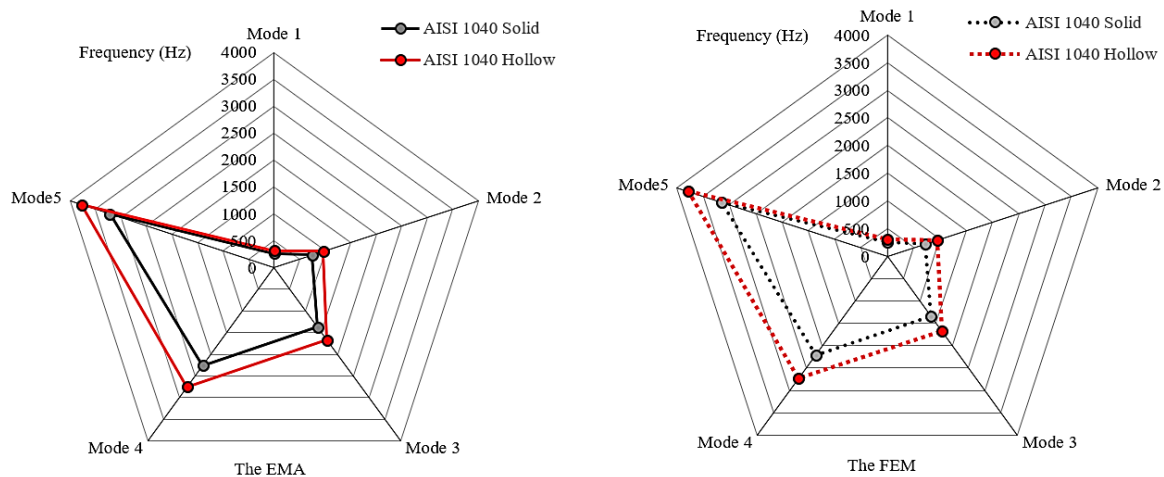


Figure 6. Natural frequencies by the EMA and the FEM

In the FRF plots given in Figure 5, the damping is proportional to the width of resonant peak. Thus, the damping is indicated by the sharpness of each peak of natural frequencies. The wider peak, the higher damping. By looking at 3 dB down the peak level, the associated damping can be determined. The damping ratio, which quantifies the level of damping or energy dissipation, plays a crucial role in ensuring stability of the system. The damping ratios of all five resonant peaks of the shafts shown in Figure 7 were calculated using half power bandwidth method, which is proportional to the width of the response peaks (approximately 3 dB down from the resonant peaks) from the measured FRF. It can be seen from the results that the AISI 1040 Hollow shaft has the highest damping ratio value of 0.84, 0.15, 0.67, and 0.39 for Mode1, Mode 3, Mode 4, and Mode 5 respectively.

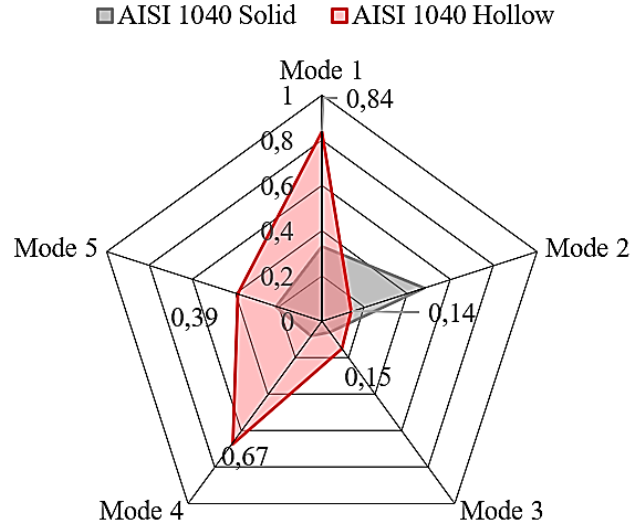


Figure 7. The damping ratios of the resonant peaks of the shafts.

The vibration mode shapes are the vibration patterns associated with each of natural frequencies. They are inherent dynamic property of a structure that depends on mass, stiffness, damping, and boundary condition. Due to the sampling rate limitation of the DAQ device used, the first five mode shapes corresponding to natural frequencies (resonant) peaks presented in Figure 8, were obtained using the EMA and the FEM. Mode shapes obtained by the EMA are not smooth as those found by the FEM. This is because that the EMA based on discrete test points. It should be noted that the smoother mode shapes can be obtained by increasing reasonably number of tests points. The vibration amplitude values at resonant frequencies with respect to mode shapes from point 1 to point 10 by the EMA were obtained and shown in Figure 9. It can be seen explicitly that overall vibration amplitudes are suppressed remarkably for the AISI 1040 Hollow shaft comparing to the AISI 1040 Solid shaft.

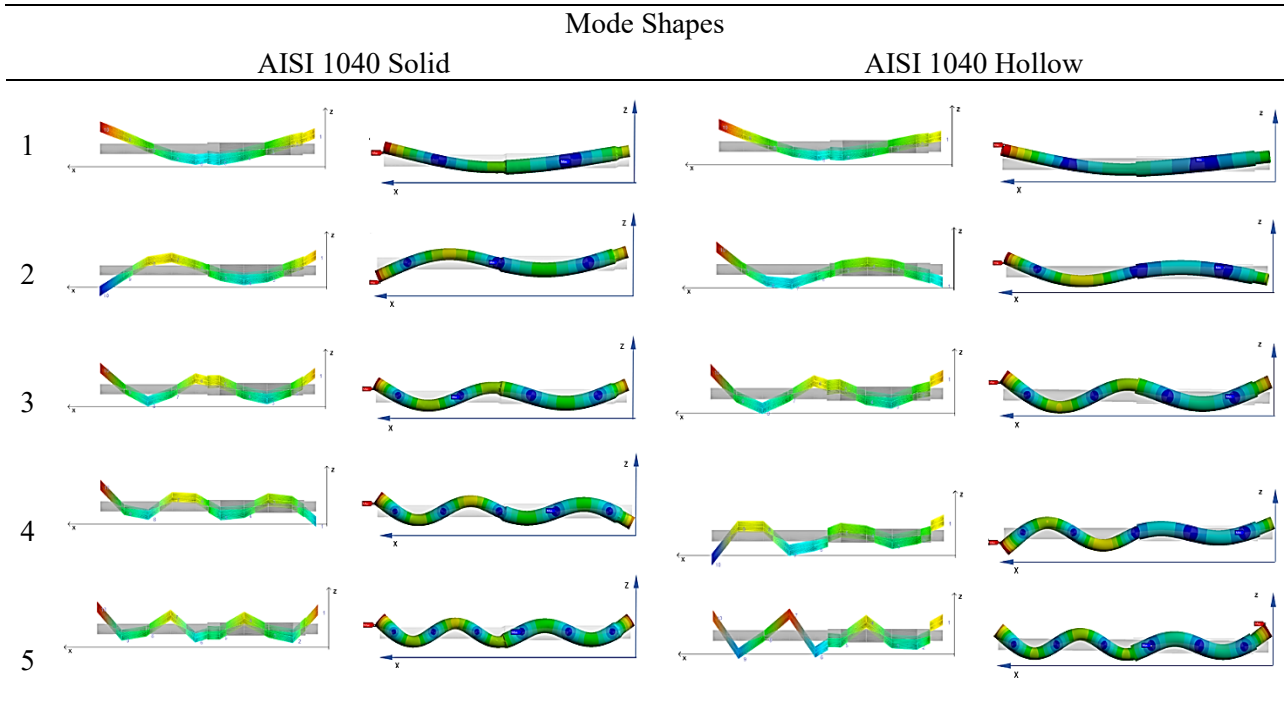


Figure 8. Mode Shapes of the shafts by the EMA and the FEM

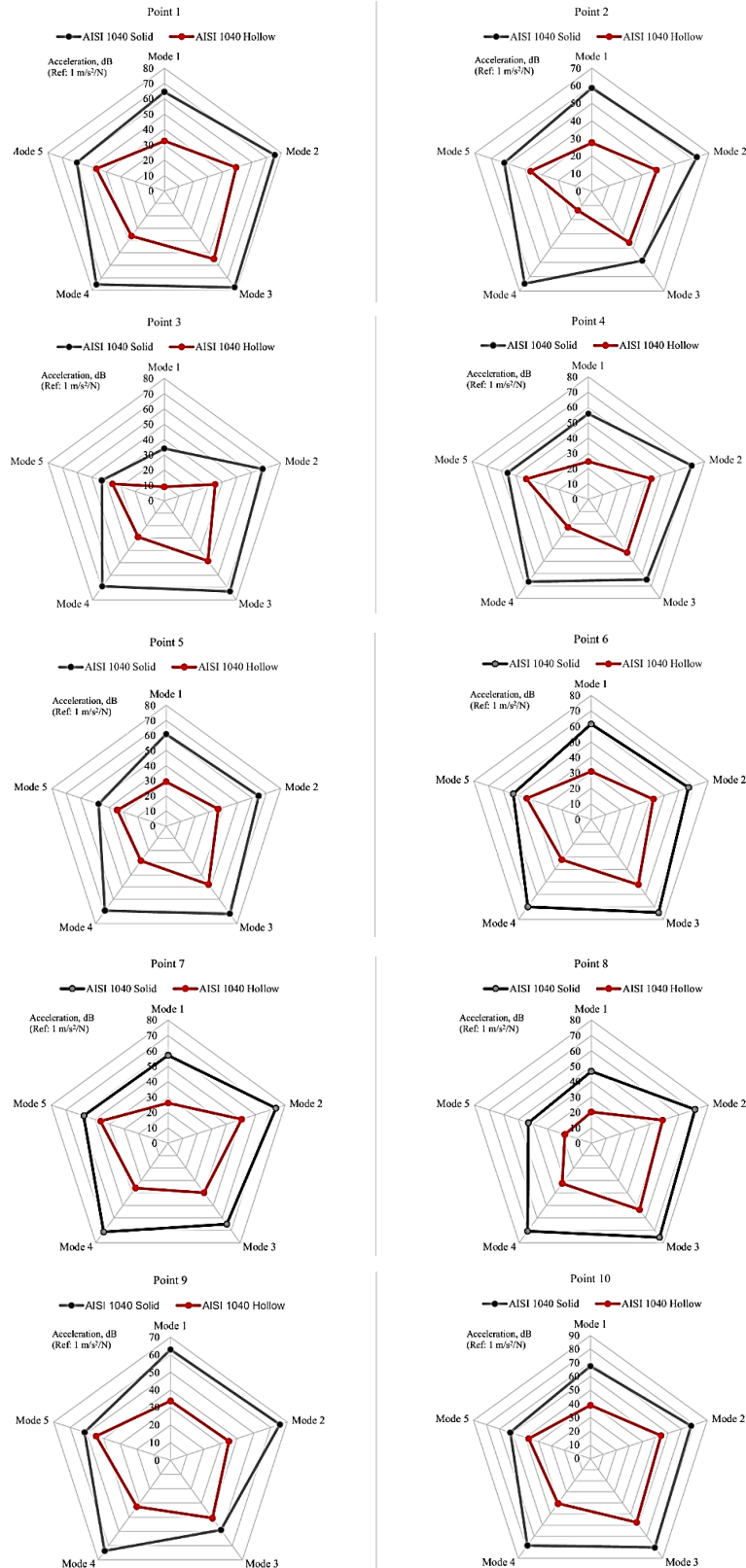


Figure 9. The vibration amplitude values from point 1 to point 10 by the EMA

The OA was performed to identify how the vibration of the shafts contributes to the overall vibration of the wind turbine system. Although it is much better to use constant increments of the shaft rotation to acquire the OA for explore further understanding the dynamic characteristics of the shafts, the tests was

performed and data were collected in form of waterfall from 600 rpm to 1000 rpm of the shaft rotational speed and vibration amplitude spectrum at natural frequency of each mode as seen Figure 10 and Figure 11 at the constant wind velocities of 5, 9, and 12 m/s generated by the wind tunnel. The wind tunnel was started at a low wind speed and allowed to stabilise at the desired speed, and then data was measured from the accelerometer in the X and Y directions. Although data were taken from accelerometers in the X and the Y direction, data taken from accelerometer in the X direction are presented, since the wind from the wind tunnel strike the shaft propeller stronger in the X direction than the Y direction.

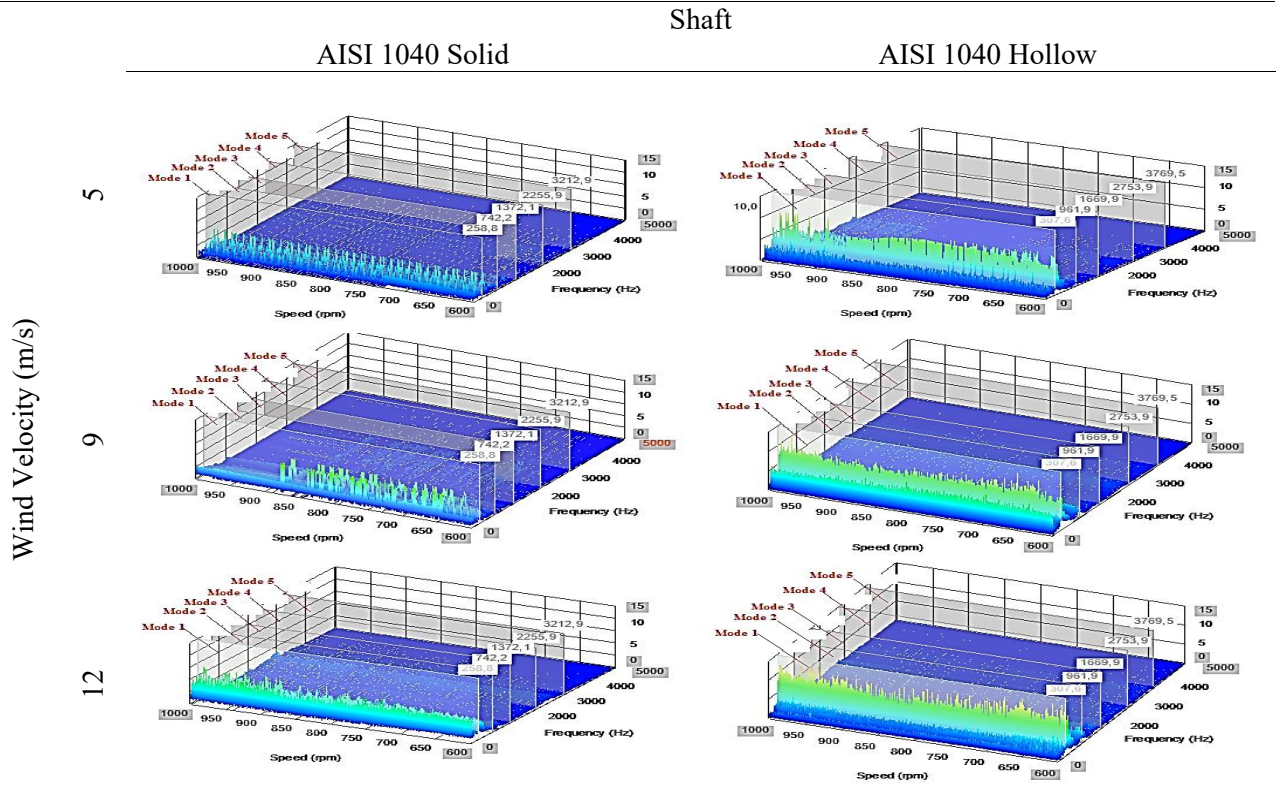


Figure 10. Waterfall by the OA at wind velocities of 5, 9, and 12 m/s

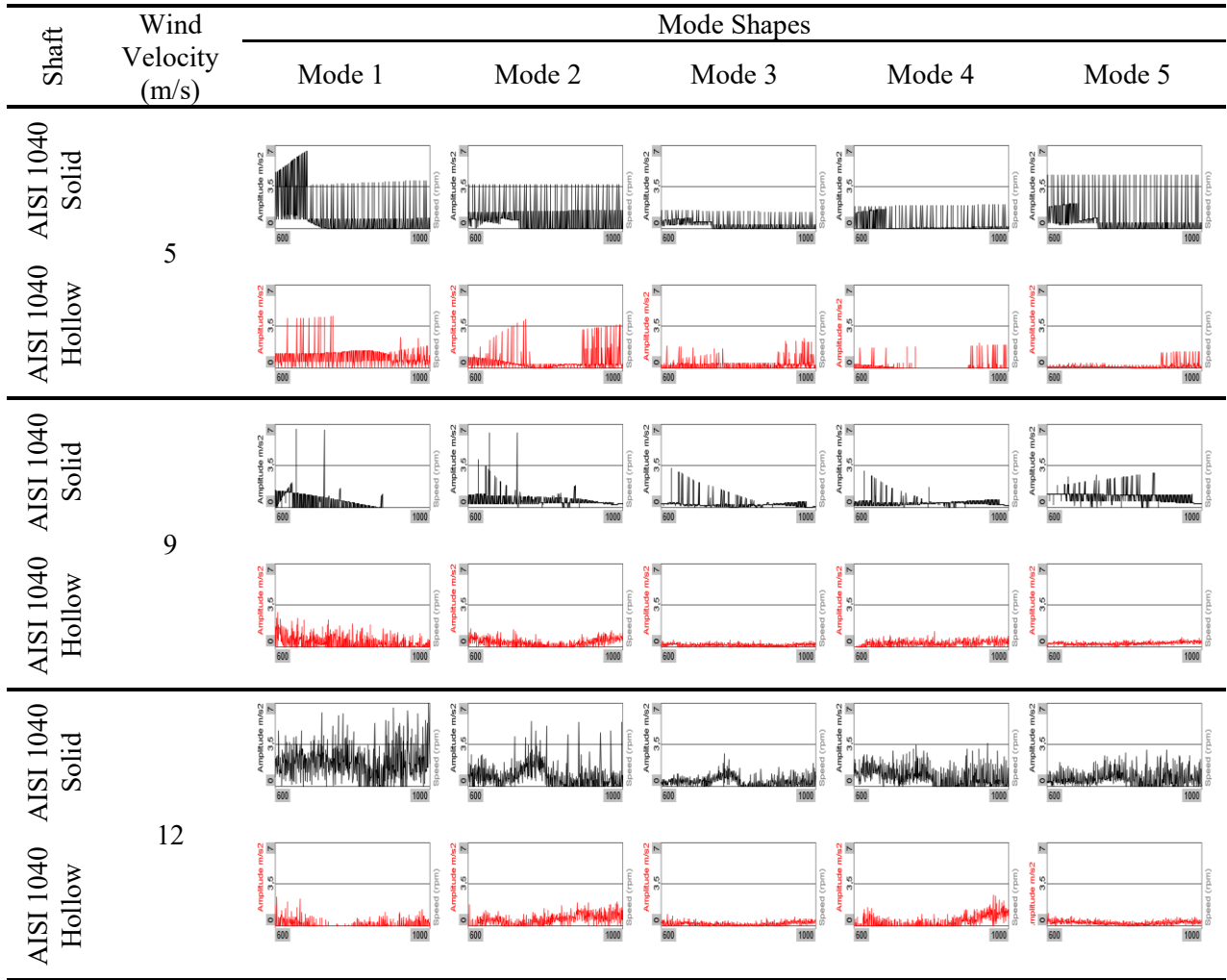


Figure 11. Amplitude spectrum of the shafts at wind velocities of 5, 9, and 12 m/s by the OA

Figure 11 shows that the amplitude values of the AISI 1040 Hollow shaft are lower than those of the AISI 1040 Solid shaft at wind speeds of 5, 9 and 12 m/s respectively. The overall results by the EMA, the FEM, and OA, it is clearly revealed and confirmed that geometric property of the shaft has a big effect on vibration reduction in the wind turbine system.

5. CONCLUSION

The dynamic characteristics of the shaft, called modal parameters, such as natural frequencies, mode shapes and structural damping, are valuable for understanding the vibration behavior of the wind turbine system. The modal parameters are extracted for the free boundary condition using the Experimental Modal Analysis (EMA) and the Finite Element Method (FEM) through Frequency Response Function (FRF) measurements, which describe the input-output relationship between the excitation point and the response point on the shaft. In addition, Order Analysis (OA) was also performed at wind velocities of 5, 9, and 12 m/s generated by wind tunnel to explore further understanding the dynamic characteristics of the shafts. From overall results, the vibration amplitude value of the AISI 1040 Hollow shaft was found to be lower than that of the AISI 1040 Solid and the damping ratio of the AISI 1040 Hollow shaft was found to be greater. The results showed that geometric property of the shaft has a big effect in terms of vibration amplitude values and damping in the wind turbine system. Although there are many factors affecting damping, the geometric property of the shaft can play an important role in reducing excessive vibration levels in the shaft so that in the wind turbine system. When shaft vibrations are reduced, structural vibrations in the wind turbine system can be minimised, which has a positive impact on

performance and lifetime. This shows that the geometrical design of the shaft is crucial for the overall stability of the system.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was financially supported by the Scientific Research Project (BAP) Coordination Unit of Düzce University (Project Number: 2022.06.05.1279)

REFERENCES

- Al-Bahadly, Ibrahim. 2009. "Building a Wind Turbine for Rural Home." *Energy for Sustainable Development* 13(3):159–65.
- APEREC. 2001. "Towards Zero-Emission Efficient and Resilient Buildings GLOBAL STATUS REPORT 2016." 1–32.
- Castellani, Francesco, Davide Astolfi, Mauro Peppoloni, Francesco Natili, Daniele Buttà, and Alexander Hirschl. 2019. "Experimental Vibration Analysis of a Small Scale Vertical Wind Energy System for Residential Use." *Machines* 7(2). doi: 10.3390/machines7020035.
- Du, Longhuan, Grant Ingram, and Robert G. Dominy. 2019. "A Review of H-Darrieus Wind Turbine Aerodynamic Research." *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science* 233(23–24):7590–7616.
- Fleck, Brian, and Marc Huot. 2009. "Comparative Life-Cycle Assessment of a Small Wind Turbine for Residential off-Grid Use." *Renewable Energy* 34(12):2688–96.
- Islam, Mazharul, David S. K. Ting, and Amir Fartaj. 2008. "Aerodynamic Models for Darrieus-Type Straight-Bladed Vertical Axis Wind Turbines." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 12(4):1087–1109.
- Johari, Muhd Khudri, Muhammad Azim A. Jalil, and Mohammad Faizal Mohd Shariff. 2018. "Comparison of Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT) and Vertical Axis Wind Turbine (VAWT)." *International Journal of Engineering and Technology(UAE)* 7(4):74–80.
- Karthik Vel, E., and S. Nadaraja Pillai. 2024. "Vibration Control of the Straight Bladed Vertical Axis Wind Turbine Structure Using the Leading-Edge Protuberanced Blades." *Engineering Structures* 319.
- Kotulski, Leszek, and Adam Jablonski. 2018. "Comparison of Requirements for Vibration-Based Condition Monitoring of a Vertical-Axis vs. Horizontal-Axis Wind Turbine." *Diagnostyka* 19(3):9–100.
- Mabrouk, Imen Bel, Abdelkhalak El Hami, Lassâad Walha, Bacem Zghal, and Mohamed Haddar. 2017. "Dynamic Vibrations in Wind Energy Systems: Application to Vertical Axis Wind Turbine." *Mechanical Systems and Signal Processing* 85:396–414. doi: 10.1016/j.ymssp.2016.08.034.
- Mclaren, K., S. Tullis, and S. Ziada. 2012. "Measurement of High Solidity Vertical Axis Wind Turbine Aerodynamic Loads under High Vibration Response Conditions." doi: 10.1016/j.jfluidstructs.2012.01.001.
- Srikanth, P., and A. S. Sekhar. 2016. "Wind Turbine Drive Train Dynamic Characterization Using Vibration and Torque Signals." *Mechanism and Machine Theory* 98:2–20.
- Staino, A., and B. Basu. 2013. "Dynamics and Control of Vibrations in Wind Turbines with Variable Rotor Speed." *Engineering Structures* 56:58–67.
- Tarfaoui, M., H. Khadimallah, A. Imad, and J. Y. Pradillon. 2012. "Design and Finite Element Modal Analysis of 48m Composite Wind Turbine Blade." *Applied Mechanics and Materials* 146:170–84.
- Tasneem, Zinat, Abdullah Al Noman, Sajal K. Das, Dip K. Saha, Md Robiul Islam, Md Firoj Ali, Md Faisal R Badal, Md Hafiz Ahamed, Sumaya I. Moyeen, and Firoz Alam. 2020. "An Analytical Review on the Evaluation of Wind Resource and Wind Turbine for Urban Application: Prospect and Challenges." *Developments in the Built Environment* 4.
- Teter, Andrzej, and Jarosław Gawryluk. 2016. "Experimental Modal Analysis of a Rotor with Active Composite Blades." *Composite Structures* 153:451–67.
- Walker, Richard P., and Andrew Swift. 2015. *Wind Energy Essentials: Societal, Economic, and Environmental Impacts*. John Wiley & Sons.

- Wang, Ying, Wensheng Lu, Kaoshan Dai, Miaomiao Yuan, and Shen En Chen. 2018. “Dynamic Study of a Rooftop Vertical Axis Wind Turbine Tower Based on an Automated Vibration Data Processing Algorithm.” *Energies* 11(11). doi: 10.3390/en11113135.
- Zhang, Lidong, Kaiqi Zhu, Junwei Zhong, Ling Zhang, Tielu Jiang, Shaohua Li, and Zhongbin Zhang. 2018. “Numerical Investigations of the Effects of the Rotating Shaft and Optimization of Urban Vertical.” doi: 10.3390/en11071870.
- Zhu, Caichao, Shuang Chen, Chaosheng Song, Huaiju Liu, Houyi Bai, and Fei Ma. 2015. “Dynamic Analysis of a Megawatt Wind Turbine Drive Train.” *Journal of Mechanical Science and Technology* 29(5):1913–19.
- Zuo, Haoran, Kaiming Bi, and Hong Hao. 2020. “A State-of-the-Art Review on the Vibration Mitigation of Wind Turbines.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 121.

FARKLI ÖZEL BETON TİPLERİ İLE HIZLI DEPREM KONUT TASARIMI

Semanur KULAKSIZ

Kocaeli Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / İnşaat Mühendisliği
Kulaksizsemanur@gmail.com, ORCID: 0009-0009-4824-5801

Prof. Dr. Salih Taner YILDIRIM

Kocaeli Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / İnşaat Mühendisliği
styildirim@kocaeli.edu.tr, ORCID: 0000-0003-0021-0625

Doç. Dr. Sonay AYYILDIZ

Kocaeli Üniversitesi / Mimarlık Ve Tasarım Fakültesi / Mimarlık
sayyildiz@kocaeli.edu.tr, ORCID: 0000-0002-4482-1674

Özet

Bu çalışma, çeşitli özel beton türlerinin, hızlı üretilen ve depreme dayanıklı konut tasarımlarında kullanılabilirliğini incelemeyi hedeflemektedir. Türkiye'nin aktif fay hatları üzerinde yer alması, deprem tehlikesini sürekli gündemde tutmakta ve yapı güvenliğine yönelik yenilikçi uygulamaların geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Özellikle 2023 yılında meydana gelen Kahramanmaraş merkezli depremler, mevcut yapı stoklarının dayanıklılığını sorgulatmış; hızlı, güvenilir ve sürdürülebilir konut üretiminin önemini bir kez daha gözler önüne sermiştir.

Bu bağlamda araştırmada; ferrocement, ışık geçirgen beton, cam agregalı beton ve soilement gibi çağdaş beton malzemelerinin yapısal ve fiziksel nitelikleri değerlendirilmiştir. Söz konusu betonların, hızlı konut inşasına sağladığı yapım kolaylığı, çevresel katkılar ve maliyet avantajları analiz edilmiştir. Özel betonlarla oluşturulan konut modellerinin hem iki boyutlu teknik çizimleri hem de üç boyutlu dijital görselleri hazırlanmış; tasarımlar mühendislik yazılımları yardımıyla optimize edilmiştir. Ferrocement; düşük ağırlığı, şekil verilebilirliği ve ekonomik üretim süreciyle öne çıkarken; ışık geçirgen beton, enerji tasarrufu ve görsel bütünlük açısından avantaj sunmaktadır. Cam içeren agregalı betonlar, geri dönüşüm esaslı üretimleri sayesinde çevreci bir alternatif oluşturmakta; soilement ise düşük bütçeli ve hızlı yapım süreçleriyle dikkat çekmektedir.

Bu çalışma; mühendislik ve mimarlık disiplinlerinin entegrasyonu ile, deprem riski yüksek bölgeler için sürdürülebilir, güvenli ve seri üretime uygun konut tipolojilerinin geliştirilmesine katkı sunmaktadır. Elde edilen verilerin, depreme dayanıklı yapı teknolojileri ve afet sonrası hızlı yerleşim çözümleri alanlarında literatüre ve uygulayıcılara önemli katkılar sağlayacağı öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Cam Agregalı Beton, Ferrocement Beton, Hızlı Deprem Konutu Tasarımı, Işıklı Geçiren Beton, Soilement, Sürdürülebilir Yapı Malzemeleri.

RAPID DESIGN OF EARTHQUAKE-RESISTANT HOUSING USING VARIOUS TYPES OF SPECIAL CONCRETE

Abstract

This study aims to investigate the applicability of various types of special concrete in the design of rapidly producible and earthquake-resistant housing. Turkey's location on active fault lines keeps the threat of earthquakes constantly on the agenda, making the development of innovative approaches to structural safety essential. In particular, the earthquakes centered in Kahramanmaraş in 2023 raised concerns about the resilience of existing building stock and once again highlighted the importance of rapid, reliable, and sustainable housing production.

In this context, the research evaluates the structural and physical properties of contemporary concrete materials such as ferrocement, light-transmitting concrete, glass aggregate concrete, and soil-cement.

These types of concrete were analyzed in terms of their ease of construction for rapid housing, environmental benefits, and cost advantages. Both two-dimensional technical drawings and three-dimensional digital visualizations of housing models constructed with special concretes were prepared, and the designs were optimized using engineering software. Ferrocement stands out with its low weight, moldability, and economical production process, while light-transmitting concrete offers advantages in terms of energy efficiency and visual coherence. Glass aggregate concrete provides an environmentally friendly alternative due to its recycled content, and soil-cement attracts attention for its low-cost and rapid construction processes.

This study, through the integration of engineering and architectural disciplines, contributes to the development of sustainable, safe, and mass-producible housing typologies for regions with high seismic risk. The findings are expected to offer significant contributions to the literature and practitioners in the fields of earthquake-resistant construction technologies and post-disaster rapid settlement solutions.

Keywords: Glass Aggregate Concrete, Ferrocement Concrete, Rapid Earthquake Housing Design, Light-Transmitting Concrete, Soil-Cement.

1. GİRİŞ

Beton, inşaat sektörünün temel yapı malzemelerinden biri olup; su, çimento, agrega ve çeşitli kimyasal katkıların belirli oranlarda karıştırılmasıyla elde edilmektedir. Başlangıçta şekillendirilebilir bir kıvamda olan beton, zamanla sertleşerek yüksek dayanım kazanmaktadır. Maliyeti, esnek kullanımı ve dayanıklılığı sayesinde inşaat uygulamalarında yaygın olarak tercih edilmektedir. Beton teknolojisindeki gelişmeler sayesinde, günümüz betonlarının dayanımı geçmiş yıllara kıyasla önemli ölçüde artmıştır. Çimento, betonun bağlayıcılığını ve mukavemetini sağlarken; agrega yoğunluk ve çekme dayanımına, su ise işlenebilirliğe katkı sağlamaktadır. Bu bileşenlerin dengeli karışımı, betonun nihai kalitesini belirleyen temel unsurdur. Tarihsel olarak beton benzeri malzemelerin kullanımı Antik Mısır ve Roma dönemine kadar uzanmakta olup, modern betonun temelleri 1824 yılında Portland çimentosunun patentiyle atılmıştır. Bu gelişmeyle birlikte betonarme yapı sistemleri yaygınlaşmıştır. Türkiye’de ise betonarme yapılar 1920’li yıllardan itibaren kullanılmaya başlanmıştır (Karakule, Akakin, & Uçar, 2004).

Günümüzde beton, sudan sonra dünyada en çok tüketilen malzeme konumundadır. Özellikle deprem riski yüksek bölgelerde betonun kalitesi, yapı güvenliği açısından kritik bir rol oynamaktadır. 6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen Kahramanmaraş merkezli depremler, Türkiye’deki mevcut yapı stoğunun yetersizliklerini açık bir şekilde gözler önüne sermiştir. Afet sonrası dayanıklı ve güvenli yapı üretiminin ne denli önemli olduğunu bir kez daha ortaya koymuştur. Bu süreçte, geçici barınma çözümlerinin yetersiz kalması, hızlı ve kalıcı konut üretiminde yenilikçi malzemelerin ve ileri beton teknolojilerinin kullanımını zorunlu hâle getirmiştir.

Deprem sonrası acil barınma ihtiyacına yönelik hızlı, güvenli ve sürdürülebilir yapı çözümleri geliştirmek, inşaat sektöründe giderek daha önemli hâle gelmektedir. Bu kapsamda, ferrocement, soilcement, ışığı geçiren beton ve cam agregalı gibi özel beton türleri; yalnızca yapısal dayanım değil, aynı zamanda ekonomik, çevresel ve estetik açılardan da avantaj sunan alternatifler olarak öne çıkmaktadır. Ferrocement, ince metal ağların çimento esaslı harçla bütünleştirilmesiyle elde edilen, yüksek dayanım ve hafiflik özelliklerine sahip özel bir yapı malzemesidir. Soilcement ise, yerel toprakların çimento ile karıştırılması sonucu elde edilen ve özellikle düşük maliyetli konut inşasında uygunluk gösteren bir beton türüdür. Işığı ileten beton, iç mekânlarda doğal aydınlatmanın artırılmasına olanak tanıyarak enerji verimliliğine katkı sağlamaktadır. Cam agregalı betonlar ise estetik açıdan özgün bir görünüm sunarken, mekanik özellikler bakımından geleneksel betonlara kıyasla daha yüksek performans sergilemektedir. Bu özel beton türleri, konvansiyonel beton uygulamalarına göre daha kısa üretim süresi, yüksek dayanım kapasitesi ve düşük çatlak oluşumu gibi avantajlar sağlamaktadır. Söz konusu özellikler, hızlı ve ekonomik konut üretimi gereksinimlerinin karşılanmasında bu yenilikçi beton malzemelerini güçlü bir alternatif haline getirmektedir.

Bu çalışmada, bu kapsamda geliştirilen deprem konutu tasarım süreci, iki boyutlu çizimlerden başlayarak üç boyutlu modelleme, görselleştirme ve son düzenleme aşamalarını kapsayan bütünsel bir

yaklaşım ile yürütülmüştür. Proje görselleri, 3D ve 2D programları yardımıyla düzenlenmiş; açıklayıcı metin, başlık ve grafik unsurların eklenmesiyle sunum niteliği artırılmıştır. Tasarımın belirli bölümlerine odaklanan detaylı görseller, hem teknik hem de estetik açılarından güçlü bir sunum dosyasının ortaya çıkmasını sağlamıştır.

MATERYAL VE METOD

1.1. Tasarımda Kullanılan Özel Beton Tipleri

1.1.1. Ferrocement Beton

Ferrocement, ince taneli çimento harcı ile tamamen kaplanmış sık aralıklı çelik tel örgülerden oluşan, yüksek dayanım ve esneklik özellikleriyle dikkat çeken bir kompozit yapı malzemesidir. Çimento, ince agrega (kum), su ve çok katmanlı çelik tel ağların bir araya gelmesiyle oluşturulan bu sistem, tel donatının harçla bütünleşmesi sayesinde homojen ve dayanıklı bir yapı davranışı sergiler (Kaish, Jamil, Raman, Zain, & Nahar, 2018). Ferrocement'in tarihçesi, 1848 yılında Joseph Louis Lambot'nun bu malzemeyi yapı sektöründe kullanılabılır bir malzeme olarak tanıtmalarıyla başlamaktadır. Ancak ferrocement modern anlamda gelişimi, 1940'lı yıllarda Pier Luigi Nervi'nin yürüttüğü çalışmalarla sağlanmıştır. Nervi, bu malzemenin yüksek esneklik ve dayanım özelliklerini ortaya koyarak, özellikle deniz araçları yapımı gibi alanlarda yaygınlaşmasına öncülük etmiştir. (Kaish ve Jamil, 2018). Düşük üretim maliyeti, hammaddelerinin kolay erişilebilir oluşu ve iş gücüne dayalı üretim süreci, ferrocement özellikle gelişmekte olan ülkeler açısından uygun bir yapı malzemesi konumuna getirmiştir. Türkiye'deki ilk uygulamalardan biri ise 1976 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi'nde gerçekleştirilen bir Ferrocement tekne yapım projesiyle hayata geçirilmiştir (Topçu & Bahadır, 2010).

Özellikle gelişmekte olan ülkelerde hızlı nüfus artışı, kırsaldan kentlere göç ve düşük gelir düzeyleri gibi etkenler, konut ihtiyacını artırmakta; ferrocement bu talebe ekonomik ve uygulanabilir bir çözüm sunmaktadır. Prefabrike ferrocement panelleri, çok katlı yapıların hızlı ve düşük maliyetli inşasına olanak tanımakta; yerel kaynaklarla ve niteliksiz iş gücüyle üretilebilmeleri sayesinde sosyal konut projelerinde yaygın olarak tercih edilmektedir. Ayrıca, deprem riski taşıyan bölgelerde yüksek dayanım ve esnekliğe sahip olmaları nedeniyle yapı güvenliğini artıran bir alternatif olarak öne çıkmaktadır.



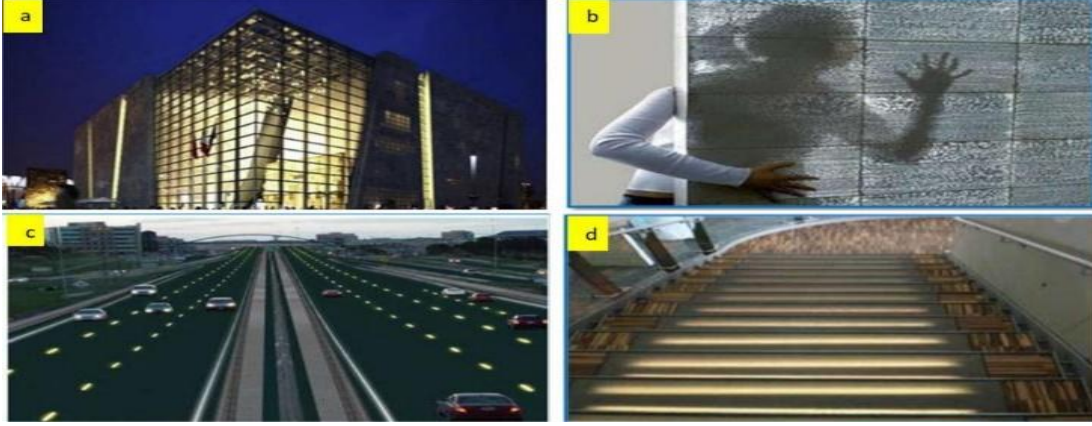
Şekil 9. Ferrocement kullanım örnekleri (Mühendislik Keşifleri, 2025)

Ferrocement üretiminde tercih edilen harç, çoğunlukla Portland çimentosu esaslıdır. Bununla birlikte, uygulama koşulları ve çevresel etkiler, uygun çimento tipinin belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Ferrocement, yüksek dayanımı, hafif yapısı, çatlak kontrolündeki başarısı ve çevresel sürdürülebilirliği ile modern inşaat sektöründe öne çıkan bir yapı malzemesidir. Uygun maliyetli üretim süreçleri ve kolay uygulanabilirliği sayesinde hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Doğru malzeme seçimi, uygun mühendislik tasarımı ve etkili uygulama teknikleri, ferrocement'in yapı endüstrisindeki yerini daha da sağlamlaştırmaktadır (Singh, Bansal, Kumar, & Kaushik, 2014).

1.1.2. Işığ Geçiren Beton

Şeffaf beton, inşaat sektöründe ışık iletimine olanak tanıyan yenilikçi bir yapı malzemesi olarak öne çıkmaktadır. Bu teknolojinin ilk örnekleri 1935 yılında Kanada'da ortaya konmuş, zamanla optik

fiberlerin katkısıyla daha gelişmiş bir yapıya ulaşmıştır (Chiew, Syahrizal Ibrahim, Mohd Ariffin, Lee, & Singh, 2021). 1965 yılında İngiliz tasarımcı James N. Lowe, beton karışımına renkli cam parçaları ekleyerek, özellikle kilise duvarlarında kullanılmak üzere ışığı geçirebilen beton paneller geliştirmiştir (Küresel Enerji Tüketim İstatistikleri, 2019). Günümüzde bilinen modern şeffaf betonun esas gelişimi ise Macar mimar Aron Losonczi tarafından sağlanmıştır. Losonczi, 2001 yılında beton ile optik fiberleri birleştirerek 'Light-Transmitting Concrete (LTC)' malzemesini tasarlamış ve patentini almıştır. LTC, yalnızca estetik mimari uygulamalarda değil, taşıyıcı duvarlar, yürüyüş yolları ve döşeme elemanları gibi çeşitli yapılarda kullanılmak üzere, ışık geçirgenliği olan dayanıklı bloklar hâlinde üretilmiştir. Bu malzemenin ilk yarı saydam prototipi 2003 yılında başarıyla ortaya konmuş ve ticari üretimine başlanmıştır (Rajak, Kumar, Biswas, & Singh, 2024).



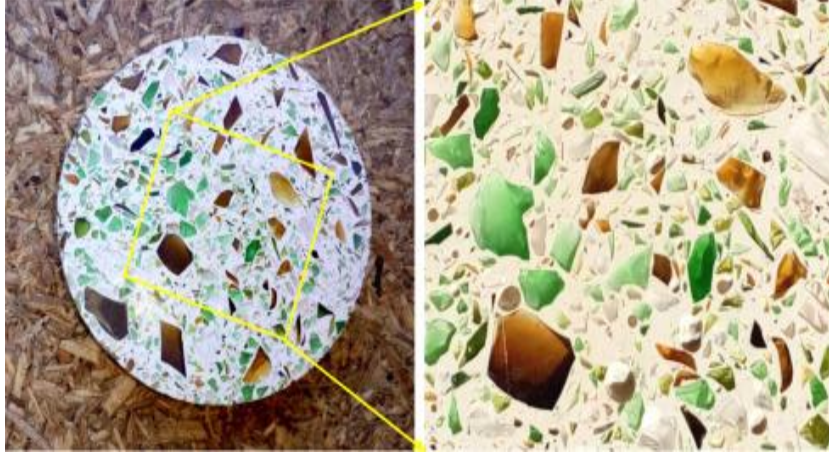
Şekil 10. LiTraCoin'in aşağıdakilerin aydınlatılmasındaki uygulamaları: (a) duvarlar (b) bölmeler (c) otoyollarda şerit işaretleri (d) merdiven durumu (Mahto & Kujure, 2017)

LTC, optik fiberlerin beton içerisine entegre edilmesiyle geliştirilen ve geleneksel betonun mekanik özelliklerini optik niteliklerle birleştiren yenilikçi bir yapı malzemesidir (Huang, 2020). Organik ve camsı yapıya sahip bu fiberler, ışık geçirmeyen beton kütesine yarı saydamlık kazandırarak doğal ışığın iç mekânlara ulaşmasını mümkün kılmakta; böylece yapay aydınlatma gereksinimini azaltarak enerji verimliliğini artırmakta ve çevresel sürdürülebilirliği desteklemektedir (Chiew, Syahrizal Ibrahim, Mohd Ariffin, Lee, & Singh, 2021). Optik fiberlerin farklı yerleşim biçimleri, cephe tasarımlarında hem estetik hem de işlevsel çeşitlilik sunarak mimari projelere özgünlük katmakta; fiberlerin ışığı kayıpsız biçimde iletmesini sağlayan toplam iç yansıma prensibi sayesinde doğal ışığın renk doğruluğu korunarak aktarılmaktadır (Huang, 2020). Ayrıca, fiberlerin esnek yapısı farklı formlarda uygulanabilmelerine olanak tanırken, bu durum tasarımlarda estetikle işlevselliği bir arada sunma imkânı yaratmaktadır. Ancak, yüksek ışık iletim performansı sunan bu fiberlerin üretimi dikkat gerektirmekte; özellikle aşırı bükülme durumlarında iletim kayıpları yaşanmakta ve bu da hem üretim maliyetini artırmakta hem de uygulama sürecini teknik açıdan zorlaştırmaktadır (Elshehri, ve diğerleri, 2022). Mekanik açıdan, saydam betonun basınç dayanımı yeterli düzeydedir ve fiber çapı büyüdükçe daha homojen yapılar elde edilerek dayanım artmaktadır.

1.1.3. Cam Agregalı Beton

Cam agregalı beton, doğal kum ve çakıl gibi geleneksel agregaların yerine, uygun boyutlarda öğütülmüş ve arıtılmış atık camların kullanıldığı beton türüdür. Bu tür betonlarda cam, hem iri hem de ince agregada formunda yer alabilmektedir. Kullanım amacı, hem atık camların değerlendirilmesiyle çevreye olan olumsuz etkilerin azaltılması hem de sürdürülebilir inşaat malzemesi üretimine katkı sağlamaktır. Cam agregalı betonun uygulama alanları, genellikle mimari estetiğin ön planda tutulduğu zemin kaplamaları, dekoratif paneller ve iç-dış cephe elemanları gibi alanlarla sınırlı kalmayıp; yol dolguları ve belirli şartlar sağlandığında asfalt katkı maddesi olarak da genişlemektedir. Son yıllarda yapılan araştırmalar, cam atıklarının asfalt karışımlarında ve yol altyapılarında kullanımı üzerine de yoğunlaşmıştır. Bununla birlikte, camın içeriğinde bulunan reaktif silisin, çimento matrisinin alkali ortamıyla tepkimeye girerek alkali-silika reaksiyonu (ASR) oluşturması, bu uygulamaların yaygınlaşmasını sınırlayan başlıca teknik

sorunlardan biridir. Bu reaksiyon, beton içinde zararlı genleşmelere ve çatlak oluşumlarına neden olabilmektedir (Aquino, Lange, & Olek, 485-493).



Şekil 11. Atık cam kırıntısı ile oluşan mimari harç (Lu & Poon, 2019)

1.1.4. Soilcement

Soilcement, uygun nitelikteki doğal toprağın belirli oranlarda çimento ve su ile karıştırılmasıyla elde edilen, sıkıştırılarak dayanımı artırılmış yarı rijit bir yapı malzemesidir. Bu malzeme; yol tabanı, altyapı dolguları ve yapı temellerinde dayanıklılığı artırmak ve maliyetleri düşürmek amacıyla kullanılmaktadır (Scullion, Sebesta, Harris, & Syed, 2005). Üretim süreci, öncelikle toprağın fiziksel ve kimyasal niteliklerinin analiz edilmesiyle başlar. Bu aşamada, toprakta bulunan mineral içerik, tane dağılımı, plastiklik ve su tutma kapasitesi gibi faktörler, malzemenin yapı amaçlı kullanımı açısından belirleyicidir. Özellikle %50'nin üzerinde kum ve %20–30 aralığında kil içeren topraklar, mekanik kararlılık açısından uygun bir yapı sunmaktadır (ArchDaily, 2024). Uygun toprak tipi belirlendikten sonra, çimento oranı optimize edilmektedir. Genellikle %3–5 oranında kullanılan çimento, bazı toprak türlerine bağlı olarak %2–6 arasında değişebilmektedir (Zhao, 2023). Bu katkı miktarı, yapının dayanımını artırırken aynı zamanda maliyet ve çevresel etkiler göz önünde bulundurularak ayarlanmaktadır. Hazırlanan karışım, daha sonra ağır silindirlerle sıkıştırılarak Proctor yoğunluğunun en az %98'ine ulaşılması hedeflenmektedir. Bu işlem, çatlak riskini azaltırken taşıyıcı kapasiteyi artırmaktadır (Zhao, 2023). Sıkıştırma işleminin kesintisiz yapılması, nemin korunmasına ve homojen bir yapının oluşmasına katkı sağlar. Son aşamada gerçekleştirilen kürleme işlemi ise, çimentonun tam olarak hidratlanmasını ve malzemenin mukavemet kazanmasını sağlar. Yüzey nemi yaklaşık 7–28 gün boyunca korunur ve bu süreçte nem kaybını önleyici plastik örtüler ya da yüzey kaplamaları kullanılmaktadır (ArchDaily, 2024). Toprak-çimento karışımlarında uygun çimento miktarının belirlenmesi, hem dayanıklılık hem de mukavemet açısından dengeli bir yapı elde edilmesine yardımcı olmaktadır. Yapılan araştırmalar, yaklaşık %4.5 oranındaki çimento içeriğinin malzemenin uzun süreli performansını olumlu yönde etkileyebileceğini ortaya koymuştur (Scullion, Sebesta, Harris, & Syed, 2005).



Şekil 12. Toprak-çimentonun bir taban olarak görünümü (a) ıslanma-kuruma döngülerine maruz kalması ve (b) su altında olmayan yol (Arifin, Agustina, Andhi, & Agus, 2021)

1.2. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarım

Deprem etkilerine karşı güvenli yapı tasarımı, yalnızca yapısal hesaplamalarla değil, aynı zamanda uygun malzeme seçimi ve doğru uygulama teknikleriyle mümkündür. Bu bağlamda, malzeme seçimi hem yapısal dayanım hem de estetik kriterler gözetilerek dikkatle yapılmıştır. Uygulama süreci üç ana aşamada yürütülmüştür: Taşıyıcı sistemin oluşturulması, cephe ve duvar kaplamaları, ve temel sisteminin inşası. Yapının taşıyıcı iskeleti, yüksek mukavemetli demir donatılar kullanılarak oluşturulmuştur. Donatı sisteminin çevresi, tel örgü ile sarılarak güçlendirilmiştir. Bu uygulama, yalnızca donatıların yerinde kalmasını sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda sistemin bütünlüğünü artırarak kaplama malzemelerinin daha sağlam tutunmasına olanak tanımıştır. Tel örgü donatı ile bütünlüklü çalışan sistem, deprem anında yapıya esneklik ve dayanıklılık kazandırmaktadır.

Taşıyıcı sistem tamamlandıktan sonra, cephe ve iç duvar yüzeyleri **ferrocement** ile kaplanmıştır. Ferrocement, ince taneli çimento harcı ile kaplanmış sık aralıklı çelik tel örgülerden oluşan, hafif ancak yüksek mukavemetli bir yapı malzemesidir. Bu özellikleri sayesinde, deprem yüklerine karşı dirençli, ekonomik ve çevresel açıdan sürdürülebilir bir çözüm sunar. İnce kesitli olmasına rağmen yüksek dayanım sağlaması, özellikle prefabrik modüller ve hafif yapı sistemleri için ideal bir seçenek haline gelmiştir. Estetik ve doğal aydınlatma ihtiyacını karşılamak amacıyla belirli bölgelerde **transparan beton** (ışığı geçiren beton) kullanılmıştır. Bu malzeme, ışığı iç mekâna geçirebilme özelliği sayesinde mekânın gün ışığı ile aydınlatılmasını sağlarken, aynı zamanda modern ve ferah bir iç atmosfer oluşturur. Transparan betonun bu işlevsel yönü, sürdürülebilir mimari tasarımlarda enerji verimliliği açısından önemli bir katkı sunmaktadır. Yapının temel sistemi, zeminin yapısal özelliklerine uyumlu ve uzun ömürlü bir çözüm sunmak amacıyla **soilcement** teknolojisiyle inşa edilmiştir. Soilcement, yerel toprakla çimento karıştırılarak oluşturulan dayanıklı bir kompozit malzemedir. Bu karışım, zeminin doğal karakteriyle uyumlu bir rijitlik sağlar ve oturma gibi zemin kaynaklı riskleri minimize eder. Yaya sirkülasyonunun yoğun olduğu temel üzerindeki alanlarda ise, hem estetik hem de aşınma direnci yüksek bir yüzey oluşturmak amacıyla **cam agregalı beton** tercih edilmiştir. Bu beton türü, içerisinde cam parçacıkları barındırması sayesinde ışığı yansıtan ve dikkat çekici bir yüzey elde edilmesini sağlamaktadır. Aynı zamanda yüzeyin aşınmaya karşı dayanıklılığı artırılmış olur. Bu yapı sisteminde kullanılan malzemeler, hem dayanım hem de estetik nitelikleriyle sürdürülebilir ve ekonomik bir yapı üretimini mümkün kılmaktadır. Doğru mühendislik uygulamalarıyla birleştirildiğinde, bu yaklaşım depreme dayanıklı yapı tasarımı için etkili ve uygulanabilir bir model sunmaktadır.



Şekil 13. Özel Betonlarla tasarlanan hızlı deprem konutu

SONUÇ

Bu çalışma, hızlı inşa edilen deprem konutlarında tercih edilen özel beton türlerinin yalnızca yapısal sağlamlık ve dayanıklılık açısından değil; aynı zamanda ekonomik, çevresel ve estetik yönlerden de dikkate değer bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Uygulanan yenilikçi malzeme tercihleri ve tasarım stratejileri, afet sonrası barınma ihtiyacını karşılamanın ötesine geçerek sürdürülebilir, fonksiyonel ve görsel açıdan güçlü çözümler sunmakta; bu yönüyle inşaat sektöründe yenilikçi bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır. Aşağıda, tercih edilen malzemelerin tasarım sürecine sağladığı katkılar maddeler halinde özetlenmiştir:

- Solicement, optimize edilmiş çimento oranı ile hem dayanım hem de dayanıklılık açısından dengeli bir yapı malzemesi olarak öne çıkmıştır. Yüksek basınç dayanımı, yapının sismik etkilere karşı güvenliğini artırırken; düşük yoğunluğu, taşıma ve montaj işlemlerinde kolaylık sağlamıştır. Ayrıca hızlı priz alma özelliği, acil konut ihtiyacına yönelik çözümleri hızlandırarak yapım süresinin kısalmasına katkı sunmuştur.
- Ferrocement, ince kesitli ancak yüksek dayanımlı yapısıyla taşıyıcı sistemlerde malzeme tüketimini azaltarak maliyet etkinliği sağlamıştır. Uzun ömürlü performansı sayesinde bakım gereksinimi düşük olan bu malzeme, ekonomik ve çevresel açılardan sürdürülebilir bir seçenek olarak değerlendirilmektedir.
- Cam agregalı beton, hem mekanik dayanımı hem de estetik nitelikleri ile kaplama yüzeylerinde işlevsellik ve görsel zenginlik sunmuştur. Geri dönüştürülmüş cam kullanımı sayesinde çevresel etkileri azaltan bu beton türü, yapıya modern bir estetik kazandırırken aynı zamanda güvenliği desteklemiştir.
- Işığ geçiren beton, doğal aydınlatmayı iç mekânlara taşıyarak enerji verimliliği sağlamış; estetik dokusuyla dış cephede dikkat çekici bir görünüm oluşturmuştur. Bu sayede hem enerji tüketimi azalmış hem de uzun vadede tasarruf sağlanmıştır.

Tasarımda benimsenen minimal yaklaşım, yapıların hem ekonomik hem de çevresel açıdan daha verimli hale gelmesini sağlamıştır. Özellikle küre formu, deprem etkilerinin yapıya eşit şekilde dağılmasına imkân tanıyarak yapısal güvenliği artırmış; aynı zamanda malzeme kullanımını optimize ederek kaynak tasarrufu sağlamıştır. Bu geometrik form, prefabrikasyon yöntemleriyle yüksek uyumluluk göstermekte olup, seri üretim süreçlerine kolayca entegre edilebilecek niteliktedir. Malzeme üretim aşamalarında, geleneksel üretim tekniklerine göre daha düşük enerji tüketimi ve daha az karbon salımı hedeflenerek çevresel sürdürülebilirlik ilkelerine uygunluk sağlanmıştır.

TARTIŞMA

Bu çalışmada incelenen özel beton türlerinin, özellikle depreme dayanıklı ve hızlı üretilebilen yapı sistemlerinin geliştirilmesinde önemli avantajlar sunduğu görülmüştür. Ferrocement, hafifliği ve yüksek dayanımıyla prefabrike sistemler için uygun bir seçenek sunarken; ışığı geçiren beton, estetik ve enerji verimliliği ile sürdürülebilir tasarıma katkı sağlamaktadır. Cam agregalı beton geri dönüşüm temelli yapısıyla çevresel fayda sağlasa da, yüksek cam oranı mukavemeti azaltabilmektedir. Soilcement ise yerel malzeme kullanımı ve düşük maliyetiyle dikkat çekmekte; ancak performansı toprak türüne bağlı olarak değişmektedir. Genel olarak, bu beton türleri; dayanım, uygulama kolaylığı, maliyet ve çevresel katkılar bakımından, özellikle deprem riski taşıyan bölgeler için etkili ve sürdürülebilir yapı alternatifleri sunmaktadır.

KAYNAKLAR

- Aquino, W., Lange, D., & Olek, J. (485-493). The influence of metakaolin and silica fume on the chemistry of alkali-silica reaction products. *Cement and Concrete Composites*.
- ArchDaily. (2024). The Future Beneath Our Feet: Soil-Cement Bricks and the Path to Sustainable Construction.
- Bashbash, M., Johnson, D., Pasha, A., & Prasanthi, K. (2013). Optical Fibres in the Modeling of Translucent Concrete Blocks. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 13-17.
- Chiew, S., Syahrizal Ibrahim, I., Mohd Ariffin, M., Lee, H.-S., & Singh, J. (2021). Development and properties of light-transmitting concrete (LTC) – A review. *Journal of Cleaner Production*.
- Dhir, R., Dyer, T., & Tang, M. (2003). Expansion due to alkali-silica reaction (ASR) of glass cullet used in concrete. *2003 Uluslararası Sempozyumu "Atık yönetimi ve geri dönüşümde ilerlemeler"* (s. 751-760). Dundee, Birleşik Krallık: Thomas Telford.
- Diamond, L. (1997). *Consolidating the third wave democracies*. JHU Press.
- Elsherif, M., Salih, A., Muñoz, M., Alam, F., AlQattan, B., Antonysamy, D., . . . Butt, H. (2022). Optical Fiber Sensors: Working Principle, Applications, and Limitations. *Advanced Photonics Research*.
- Fırat, S., & Yılmaz, İ. (2019). Lif Takviyeli Betonların Depreme Dayanıklı Yapılardaki Kullanımı. *Teknik Dergi*, 77-89.
- Huang, B. (2020). Light transmission performance of translucent concrete building envelope. *Cogent Engineering*.
- Kaish, A., Jamil, M., Raman, S., Zain, M., & Nahar, L. (2018). Ferrocement composites for strengthening of concrete columns: A review. *Construction and Building Materials*.
- Karakule, F., Akakin, T., & Uçar, S. (2004). Türkiye'de ve Dünyada Hazır Beton Sektörü. *Türkiye Hazır Beton Birliği*.
- Kavas, T., A, E., & Evcin, A. (2004). Cam atıklarının çimento üretiminde katkı maddesi olarak kullanılabilirliğinin araştırılması. *5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, 13-14.
- Küresel Enerji Tüketim İstatistikleri. (2019).
- Maraşlı, M. (2019). Cam Lifi Takviyeli Betonlarda Olgunluk İndeksi Yöntemi ile Eğilme ve Basınç Dayanımlarının Tahmin Modelinin Geliştirilmesi. *Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*.
- Meyer, C. (2001). A Case in Case Study Methodology. *Field Methods*, 329-352.
- Momin, A., Kadiranaikar, R., Jagirdar, V., & Inamdar, A. (2014). Study on Light Transmittance of Concrete Using Optical Fibers and Glass Rods. *International Conference on Advances in Engineering & Technology*, 67-72.
- Navabi, D., Amini, Z., Rahmati, A., Tahbaz, M., Butt, T., Sharifi, S., & Mosavi, A. (2023). Developing light transmitting concrete for energy saving in buildings. *Case Studies in Construction Materials*.
- Rajak, M., Kumar, R., Biswas, R., & Singh, S. (2024). *Light transmitting concrete: a systematic review of research trends*. CRC Basın.
- Scullion, T., Sebesta, S., Harris, J., & Syed, I. (2005). Yol kaplamaları için toprak-çimento ve çimento-modifiye toprağın performansının değerlendirilmesi: Bir laboratuvar araştırması. *Portland Çimento Birliği*.

- Shen, J., & Zhou, Z. (2020). Light transmitting performance and energy-saving of plastic optical fibre transparent concrete products. *Indoor and Built Environment*.
- Singh, V., Bansal, P., Kumar, M., & Kaushik, S. (2014). Effect of Wire Mesh Orientation on Strength of Exterior RC Beam-Column Joints Retrofitted Using Ferrocement Jackets. *International Journal on Emerging Technologies*, 212.
- Topçu, İ., & Bahadırılı, T. (2010). Ferrocementn Gemi ve Teknelerde Kullanımı. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*.
- Türk Standartları Enstitüsü. (2018).
- Zhao, Y. (2023). A Review on Hydration Process and Setting Time of Limestone Calcined Clay Cement (LC3). *MDPI*.

HAVA DURUMU VERİLERİNİN KISA DÖNEM ELEKTRİK YÜK TAHMİNİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Habil ERGEN

Kocaeli Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Elektrik Mühendisliği Bölümü
habilergen@gmail.com, ORCID: 0009-0004-8949-324X

Dr. Öğr. Üyesi, Murat ÜNLÜ

Kocaeli Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Elektrik Mühendisliği Bölümü
muratunlu@kocaeli.edu.tr, ORCID: 0000-0002-7650-119X

Özet

Elektrik tüketim talebinin doğru bir şekilde tahmin edilmesi, enerji şirketleri için planlama ve kaynak yönetimi açısından büyük bir öneme sahiptir ve bu nedenle, hava durumunun elektrik yük tahminine olan etkilerinin tam olarak belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, hava durumunun kısa dönem elektrik yük tahmini üzerindeki etkileri incelenmiştir. Catboost gibi güçlü bir makine öğrenmesi modeli, geçmiş yük verileri, gün özellikleri ve tatil günleri gibi bağımsız değişkenlerle birleştirilerek elektrik yük tahmini yapılmıştır. İlk olarak hava durumu verileri modele dahil edilmeden tahminler yapılmış, ardından hava durumu verileri modele eklenerek tekrar tahminler yapılmış ve her iki durum için modelin hata performansları karşılaştırılmıştır. Hava durumu verilerinin veri setine eklenmesiyle birlikte MAPE değerlerinde %6,14 performans iyileşmesi olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Catboost, Hava durumu, Makine öğrenmesi, MAPE

THE EFFECTS OF WEATHER DATA ON SHORT-TERM ELECTRICITY LOAD FORECASTING

Abstract

Accurate forecasting of electricity consumption demand is of great importance for power companies in terms of planning and resource management, and therefore, the effects of weather on electricity load forecasting need to be fully characterized. In this study, the effects of weather on short-term electricity load forecasting are investigated. A powerful machine learning model such as Catboost is combined with independent variables such as historical load data, day characteristics and holidays to forecast electricity load. First, forecasts are made without including weather data in the model, then forecasts are made again by adding weather data to the model and the error performances of the model are compared for both cases. It was found that there was a 6.14% performance improvement in MAPE values with the addition of weather data to the dataset.

Keywords: Catboost, Weather, Machine learning, MAPE

1. GİRİŞ

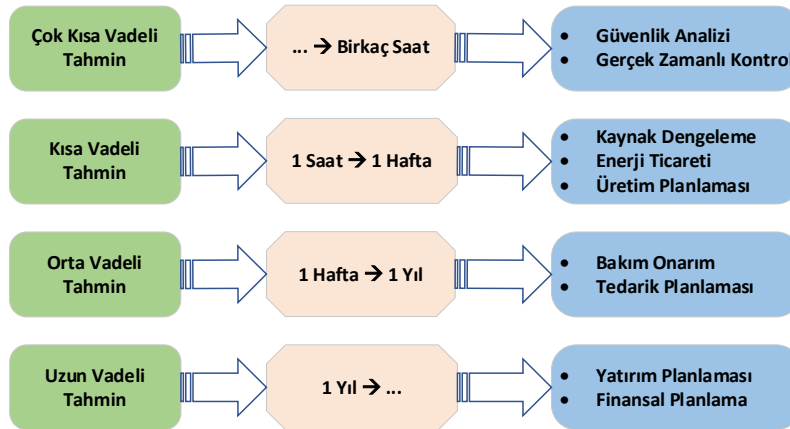
Elektrik talebinin tahmin edilmesi süreci, geçmiş elektrik tüketim verilerinin analizi, gün içindeki özelliklerin dikkate alınması, tatil günleri ve hava durumu gibi faktörlerin değerlendirilmesini içermektedir. Elektrik tüketiminin doğru bir şekilde tahmin edilmesi, enerji şirketlerinin verimli planlama yapabilmeleri ve kaynaklarını etkin bir şekilde yönetebilmeleri için son derece kritik bir rol oynamaktadır. Bu nedenle, elektrik yük tahmini sürecinin sürekli olarak geliştirilmesi ve iyileştirilmesi, enerji sektörünün sürdürülebilirlik ve verimlilik hedeflerine ulaşmasında kritik bir öneme sahiptir.

Enerji talebindeki değişkenlikler, hava koşulları, tüketici alışkanlıkları, ekonomik faktörler ve diğer etkenler tarafından etkilendiğinden, doğru tahminler yapmak oldukça zor olabilir. Ancak, gelişmiş veri analitiği teknikleri ve yapay zeka uygulamaları kullanılarak bu tahminler daha doğru ve güvenilir hale getirilebilir. Büyük veri analizi, öngörü modelleri ve simülasyon yöntemleri gibi araçlar, elektrik tüketim tahmininde önemli bir rol oynamaktadır.

Elektrikli araçların, bölgesel düzeyde dağıtık yenilenebilir üretimin ve enerji depolamanın yaygınlaşmasında beklenen artış, kısa vadeli operasyonlarda arz ve enerji kontrol edilebilirliğindeki belirsizlikleri daha da artırmaktadır. Bu sebeple, doğru talep tahminleri, elektrik güç sistemlerinde planlama ve operasyonel kararları desteklemek için sistem operatörleri ve analistler için hayati önem taşımaktadır (Hafız et al., 2018), (Mehigan et al., 2018).

Literatürde tahmin aralığının sınıflandırılması için genel bir kural bulunmamaktadır. Zaman aralığına bağlı olarak, elektrik yük tahmini çok kısa vadeli yük tahmini (VSTLF), kısa vadeli yük tahmini (STLF), orta vadeli yük tahmini (MTLF) ve uzun vadeli yük tahmini (LTLF) olmak üzere dört gruba ayrılabilir (Hong & Fan, 2016), (Chandrasekaran & Paramasivan, 2024).

VSTLF, bir saate kadar ki zaman aralıklarında tahmin yapmak için kullanılır. Genel olarak, güç sistemlerinin gerçek zamanlı kontrolü, güvenlik analizi ve güç ekipmanlarının çalışmasının izlenmesi için kullanılır (Economou et al., 2016). STLF, genellikle bir saat ile bir hafta arası tahmin yapmak için kullanılır. Elektrik fiyatlandırılması, üretim programlarının planlanması ve yük akışlarının yönetilmesi gibi günlük operasyonların planlanması için kullanılır (Tsalikidis et al., 2023). MTLF, genellikle bir hafta ile bir yıl arası tahmin yapmak için kullanılır. Güç sistemlerinin işletimi, bakım-onarım çalışmalarının planlanması, risk yönetimi, bilanço hesaplaması için kullanılır (Kuo & Huang, 2018). LTLF, güç sistemlerinin yeni kapasite artışı yatırımlarında bütçeleme kararları için uzun vadeli planlamasında kullanılır. Genel olarak bir yıldan uzun süreli yük tahmini yapmak için kullanılır (Farsi et al., 2021). Şekil 1'de tahmin uygulamaları ve zamana bağlı sınıflandırması gösterilmektedir.



Şekil 14. Tahmin uygulamaları ve zamana göre sınıflandırılması

Elektrik tüketim talebi gün içerisinde anlık olarak değişkenlik gösterdiğinden devreye girecek ve devreden çıkacak enerji santrallerinin belirlenmesi için kısa dönem talep tahmin yöntemleri kullanılır. Üretimdeki ve talepteki yük farklılıkları şebeke üzerinde dengesizliğe neden olduğundan piyasa katılımcıları, sistemi dengesizliğe düşürdükleri için dengesizlik maliyetlerine katlanmak zorundadır.

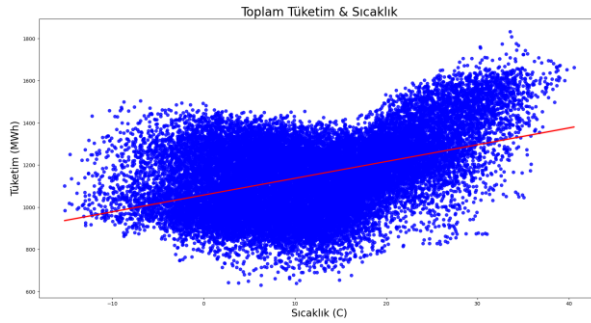
2.MATERYAL VE METOD

2.1.Kısa Vadeli Elektrik Tüketim Tahminini Etkileyen Faktörler

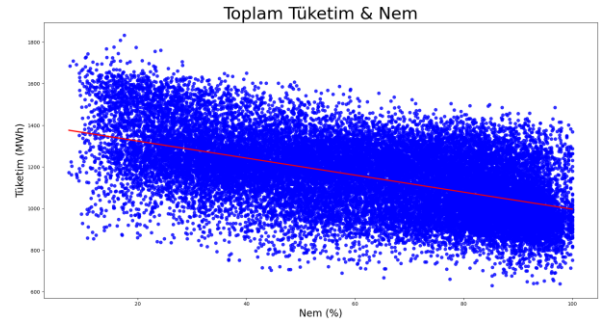
Kısa dönem tahminler, günlük değişen hava koşulları ve talep dalgalanmaları gibi değişkenleri göz önüne alarak gerçekleştirilir. Kaliteli tahminler yapabilmek için, doğru ve güncel verilere sahip olmak çok önemlidir. Dahası, günün saatine, haftanın gününe ve hatta tatil dönemlerine göre değişen taleplerin analiz edilmesi gerekmektedir. Bu sayede, enerji şirketleri talebe göre üretimi ve dağıtımını optimize edebilir, olası aksaklıkları önleyebilir ve müşteri memnuniyetini artırabilir. Teknolojik gelişmeler, enerji üretimi ve tüketimi arasındaki dengenin sağlanmasında daha etkili tahmin yöntemlerinin kullanılmasını

sağlayarak enerji verimliliğini artırmaktadır. Bu yüzden, doğru tahminler yapabilmek için sürekli olarak yeni yöntemler ve teknolojilerin geliştirilmesi önemlidir. Çalışmada kullanılan veriler arasında geçmiş tüketim verileri, zaman faktörleri ve hava durumu verileri bulunmaktadır.

Hava durumu verileri: Hava durumu verileri, elektrik dağıtım yükünün tahmin edilmesinde kullanılan temel faktörlerden biridir. Yük tahmini için çeşitli hava değişkenleri dikkate alınabilir. Sıcaklık ve nem en sık kullanılan yük tahmin edicileridir (Feinberg & Genethliou, 2005). Hava durumunun etkisi, en çok evsel ve tarımsal kullanım tüketicilerinde görülür bununla beraber endüstriyel tüketicilerin de yük profilini değiştirebilir. Sıcaklık ve elektrik tüketimi arasındaki güçlü ve doğrusal olmayan ilişki yapılan çalışmalar ile gösterilmiştir (Sobhani et al., 2020). Nem, rüzgâr hızı ve rüzgâr yönünün hissedilen sıcaklık üzerinde etkisi vardır. Yağışın sıcaklığı düşürücü etkisi olduğundan elektrik tüketimi üzerinde olumlu veya olumsuz etki yaratabilir (Fahad & Arbab, 2014). Şekil 2’de tüketim ve sıcaklık arasındaki dağılım grafiği gösterilmiştir. Grafik, yüksek sıcaklık ve elektrik tüketimi arasında daha büyük bir korelasyon göstermektedir. Şekil 3’te tüketim ve nem arasındaki dağılım grafiği gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere tüketim ve nem arasında negatif korelasyon ilişkisi vardır.



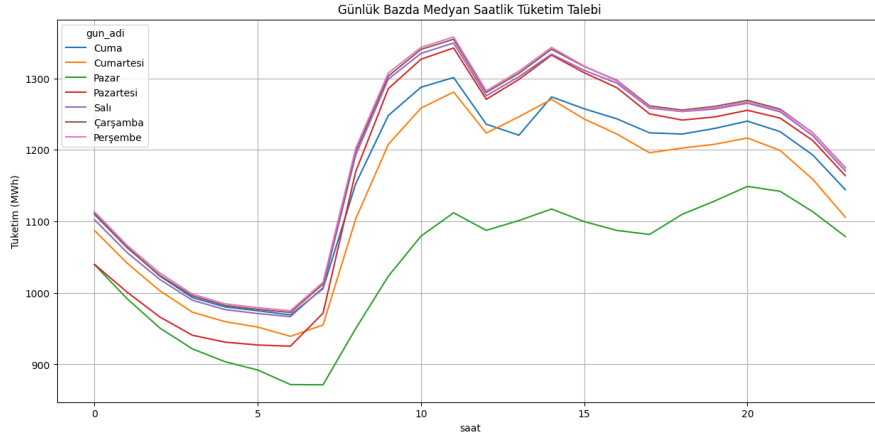
Şekil 15. Tüketim-Sıcaklık İlişkisi



Şekil 16. Tüketim-Nem İlişkisi

Geçmiş Tüketim Verileri: Geçmiş tüketim verileri, elektrik tüketimini anlamak için temel bir bilgi kaynağıdır. Bu veriler, geçmiş dönemlerdeki elektrik tüketim desenlerini ve trendlerini analiz etmek ve elektrik talebindeki değişiklikleri anlamak için kullanılmaktadır.

Zaman Faktörü: Zaman faktörü, veri setlerinde saatlik, günlük örüntüler gibi örüntülerin bulunması nedeniyle STLF için en önemli faktördür (Farsi et al., 2021). Zaman faktörleri yılın zamanını, haftanın gününü ve günün saatini içerir. Hafta içi, hafta sonu ve özel (resmî ve dini bayram günleri) günler arasında önemli tüketim farklılıkları bulunmaktadır. Hafta içi farklı günlerindeki elektrik tüketimi de farklı olabilmektedir (Feinberg & Genethliou, 2005). Dolayısıyla takvim günleri, tahmin sürecinde dikkate alınması gereken önemli bir özelliktir. Farklı özel günlerin bölgeye ve haftanın gününe bağlı olarak gün içindeki elektrik tüketimi üzerinde farklı etkileri olduğunu unutmamak gerekir (Erişen et al., 2017). Şekil 4’te Tüketim ile günün saati ve haftanın günü arasındaki gösterilmektedir.



Şekil 17. Haftanın günleri ve saatlik bazda tüketim verilerinin istatistiksel özellikleri

Tüketim değerlerinin saat 0.00'dan sabah saat 6:00'ya kadar düşük olduğu ve azaldığı, saat 6.00'den itibaren saat 11.00'e kadar yükseldiği, saat 12:00'da bir miktar azaldığı ve sonrasında tekrar yükseldiği ve saat 14.00'den sonra gün sonuna kadar tekrar azaldığı görülmektedir. Pazar günü tüketim değerlerinin diğer günlerin tüketimlerinden çok daha düşük olduğu görülmektedir.

2.2.CatBoost Makine Öğrenmesi Modeli

“Category” ve “Boosting” kelimelerinin birleşiminden oluşan Catboost (Prokhorenkova et al., 2017), 2017 yılında Yandex şirketi tarafından geliştirilmiştir. Eksik değerleri işleyebilen, gradyan artırma tabanlı açık kaynak kodlu bir makine öğrenmesi algoritmasıdır. Ön tanımlı parametrelerle bile iyi sonuçlar sağladığından veri hazırlığı aşamalarını kısaltmaktadır. Öğrenme hızı yüksektir. Hem sayısal hem de sayısal olmayan veriler ile çalışabilmektedir. CatBoost'un arkasındaki ana fikir, kategorik verileri işlemek için özel olarak tasarlanmış gradyan artırma modelleri oluşturmaktır. CatBoost'un temel özelliklerinden biri, gerçek dünya veri kümelerinde yaygın bir sorun olan verilerdeki eksik değerleri otomatik olarak işleyebilmesidir. Bunu, her eksik değer için ayrı bir ağaç oluşturarak yapar, bu da modelin verilerde eksik değerler olduğunda bile daha doğru tahminler yapmasını sağlar (Ergül Aydın et al., 2023).

2.3.Performans Değerlendirmede Kullanılan Metrikler

Modellerin performansını değerlendirmek için literatürde birçok doğruluk ölçütü kullanılmaktadır. En yaygın olarak kullanılan doğruluk ölçütleri aşağıdaki denklemlerde gösterilmiştir.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |y_t - f_t| \quad (1)$$

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (y_t - f_t)^2 \quad (2)$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{y_t - f_t}{y_t} \right| \times 100 \quad (3)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_t (y_t - f_t)^2}{\sum_t (y_t - \bar{y})^2} \quad (4)$$

Burada y_t gerçek tüketim değerini, f_t tahmini tüketim değerini, $\bar{y}$ ortalama tüketim değerini ve n toplam tahmin sayısını göstermektedir.

2.4.Ölçeklendirme

Ölçeklendirme, farklı ölçeklerdeki öznitelikler için standart bir karşılaştırma tabanı sağlar. Çok büyük ya da çok küçük değer aralıklarındaki öznitelikler öğrenme sürecinde hatalara yol açabilir. Ölçeklendirme bu aralıkları daraltır. Ölçeklendirme ile oluşturulan modelin performansı artar, aykırı değerlerin etkisi azalır ve verilerin aynı ölçekte olması sağlanır. Bu nedenle ölçeklendirme, tutarlı ve başarılı modelleme için çok önemli bir veri ön işleme adımudur.

Robust Ölçeklendirme: Ortalama ve standart sapma yerine ortanca ve çeyreklik aralığı kullanır. Aykırı değerlere karşı daha dayanıklıdır.

$$Q_1 = \left(\frac{n-1}{4} \right)^{inci} \text{ terim} \quad (5)$$

$$Q_3 = 3 * \left(\frac{n-1}{4} \right)^{inci} \text{ terim} \quad (6)$$

$$IQR = Q_3 - Q_1 \quad (7)$$

$$x' = \frac{x_i - x_{median}}{IQR} \quad (8)$$

Burada x' ölçeklendirilmiş veriyi, x_i girdi değerini, x_{medyan} ortanca değeri ve n terim sayısını göstermektedir. Uygun ölçeklendirme yönteminin seçilmesi verinin dağılımına ve model türüne bağlıdır. Ölçeklendirme model performansını önemli ölçüde etkileyebilir.

2.5.Korelasyon Analizi

Korelasyon analizi, iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkinin gücünü ve yönünü ölçmek için kullanılan istatistiksel bir yöntemdir (Rodgers & Nicewander, 1988; Weisstein, n.d.). Temel amacı, değişkenler arasındaki doğrusal ilişkinin varlığını ve derecesini belirlemektir. Korelasyon analizi, iki değişken arasındaki ilişkiyi -1 ile +1 arasında değişen bir korelasyon katsayısı ile ifade eder:

- (+1): Mükemmel pozitif korelasyon (Bir değişken arttıkça diğeri de artar)
- (-1): Mükemmel negatif korelasyon (Bir değişken arttıkça diğeri azalır)
- (0): Hiç korelasyon yoktur (Değişkenler birbirinden bağımsızdır)

2.6.Döngüsel Özellik Kodlama

Döngüsel özellik kodlama (Cyclical Feature Encoding), periyodik özellikler (örneğin saat, gün, ay gibi) için kullanılan bir kodlama tekniğidir. Bu özellikler döngüsel bir yapıya sahiptir, yani değerler belli bir noktadan sonra tekrar etmeye başlar. Döngüsel özellik kodlama tekniği özelliğin döngüsel yapısını koruyan ve komşu değerlerin ilişkisini yansıtan bir kodlama sağlar. Her döngüsel özellik için sinüs ve kosinüs bileşenleri olmak üzere iki yeni özellik tanımlanır. Orijinal periyodik değer, denklem (9) ve (10)'te gösterilen sinüs ve kosinüs fonksiyonlarına göre kodlanır. Böylece komşu değerler birbirine yakın kodlanır ve özelliğin döngüsel yapısı korunmuş olur.

$$x_{sin} = \sin \left(\frac{2 * \pi * x}{x_{max}} \right) \quad (9)$$

$$x_{cos} = \cos \left(\frac{2 * \pi * x}{x_{max}} \right) \quad (10)$$

2.7.Yöntem

Tahmin modellerini geliştirmek için Python programlama dili kullanılmıştır. Açık kaynak kodlu ve tahmin uygulamaları için çok popüler bir programlama dili olan Python, model geliştirmek için çok sayıda kütüphaneye sahiptir ve bu kütüphaneler sürekli geliştirilmektedir. Geliştirme ortamı olarak Jupyter Notebook kullanılmıştır. Jupyter Notebook başlangıçta Python ve R dilinde yazılmış veri bilimi uygulamaları için geliştirilmiş, canlı kod, denklemler, görselleştirmeler ve anlatı metni içeren belgeler oluşturmak, yürütmek ve paylaşmak için tasarlanmış açık kaynak etkileşimli bir geliştirici ortamıdır (*Microsoft.Com/Tr-Tr*, 2023). Bu nedenle veri bilimi, makine öğrenmesi ve derin öğrenme konularında çok kullanılmaktadır.

Osmangazi Elektrik Dağıtım A.Ş. (OEDAŞ) bölgesi için 01.01.2021-31.12.2023 tarihleri arasındaki saatlik elektrik tüketim verileri EPİAŞ Şeffaflık Platformundan (*Seffaflik*, 2024) alınmıştır. Aynı tarihler için hava durumu verileri açık kaynaklı ücretsiz bir hava durumu API'si sunan Open-Meteo (*OpenMeteo*, 2024) sitesinden alınmıştır. Sonrasında veri ön işleme çalışmalarına başlanmıştır. Tüketim verisi bağımlı değişken, diğer alanlar ise bağımsız değişken olarak tanımlanmıştır.

Veri setinde 01.01.2021 – 31.12.2023 tarihleri arasında $1095 \times 24 = 26280$ saat bulunmaktadır. Kullanılan verilerde ilk olarak eksik değer kontrolü yapılmıştır. Tüketim ve hava durumu verilerinde eksik değer bulunmamaktadır. Veri kontrollerinin ardından aykırı değer kontrolü yapılmıştır. Aykırı değer kontrolünde denklem (5), (6), (7)' deki uç değerler yöntemi kullanılmıştır. Birinci çeyrek değer ve üçüncü çeyrek değer elde edilip farkı hesaplanmıştır. Ardından alt ve üst değerler denklem (11) ve (12)'ye göre hesaplanmıştır.

$$\text{Alt Değer} = Q_1 - 1,5 * IQR \quad (11)$$

$$\text{Üst Değer} = Q_3 + 1,5 * IQR \quad (12)$$

Alt değer ve üst değer arasında kalmayan tüketim değerleri ve bu değerlere ait bağımsız değişkenler veri setinden çıkarılmıştır. Korelasyon analizi için birçok bilimsel ve istatistiksel çalışmada yaygın olarak kullanılan pearson korelasyon yöntemi kullanılmıştır. Tüketim ile arasındaki korelasyon katsayı çok zayıf olan yüzey basıncı, rüzgâr hızı, rüzgâr yönü, toprak nemi ve dağınık radyasyon verisi veri setinden çıkarılmıştır. Veri setindeki döngüsel özellik gösteren bağımsız değişkenlerin (saat, gün, hafta, ay) denklem (9) ve (10) yardımıyla iki boyuta dönüşümleri gerçekleştirilmiştir. Bu işlemlerin ardından ölçeklendirme işlemine geçilmiştir. Ölçeklendirme yöntemi olarak Robust ölçeklendirme kullanılmıştır. Döngüsel özellik gösteren bağımsız değişkenler denklem (8) yardımıyla ölçeklendirilmiştir. Veri ön işleme aşamaları bu işlemle birlikte sonlanmıştır. Bu işlemlerin yapılmasının ardından toplam 35 adet bağımsız değişkene sahip bir veri seti oluşmuştur. Bu veri seti eğitim ve test olmak üzere iki kısma bölünmüştür. Veri setinin %80'i eğitim, %20'si test için ayrılmıştır.

3.SONUÇ

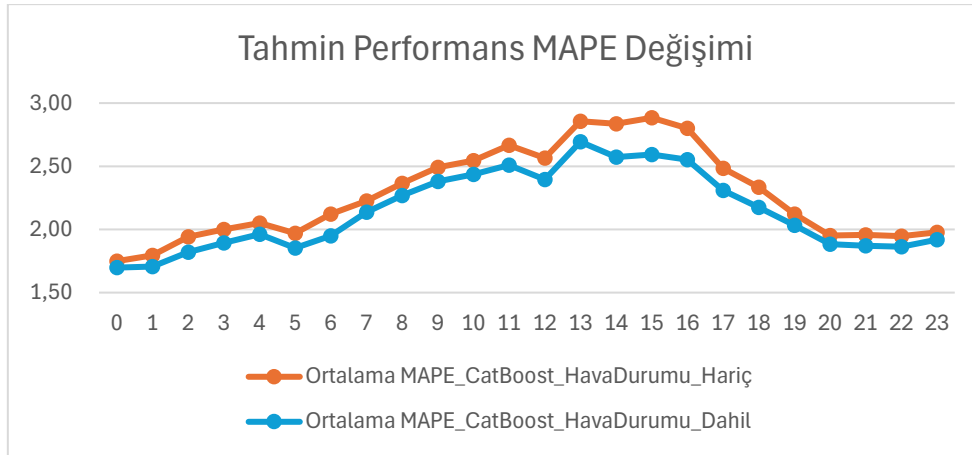
Çalışmada kullanılan makine öğrenmesi modeli için hava durumu verileri dahil edilmeden ve hava durumu verileri dahil edilerek ayrı ayrı eğitim ve performans ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Hava durumu verileri dahil edilmeden yapılan tahminlerde, geçmiş yük verileri, gün özellikleri ve tatil günleri gibi bağımsız değişkenler kullanılarak makine öğrenmesi modeli oluşturulmuş ve modelin hata oranları kaydedilmiştir. Daha sonra hava durumu verileri, veri setine eklenerek makine öğrenmesi modeli tekrar oluşturulmuş ve modelin hata oranları kaydedilmiştir.

Hava durumu verileri dahil edilmediğinde; ortalama saatlik MAPE değeri %2.28 olarak elde edilmiştir. Hava durumu verileri dahil edildiğinde ise; ortalama MAPE değeri, %2.14 olarak bulunmuştur. Sonuçlar, hava durumu verilerinin dahil edildiği durumda model performanslarının önemli ölçüde arttığını göstermiştir. Hava durumu verilerinin veri setine eklenmesiyle MAPE değeri için %6.14 performans iyileşmesi olduğu tespit edilmiştir. Tablo 1'de hava durumu verilerinin dahil edildiği ve edilmediği durumlardaki performans değişimleri gösterilmektedir.

Tablo 4. Performans Değişimleri

Metrik	HavaDurumu_Hariç	HavaDurumu_Dahil
MAE	25.62	24.10
MAPE	2.28	2.14
MSE	1,271.55	1,115.09
R²	0.96	0.97

Bu durum, hava durumu verilerinin elektrik tüketim tahmini üzerindeki etkilerinin ve yapılan tahminlerin doğruluğu üzerindeki önemli bir rol oynadığını vurgulamaktadır. Hava durumu verilerinin kullanılması, modelin daha iyi bir genelleme yapabilmesine olanak sağlamış ve tahminlerin daha doğru olmasını sağlamıştır. Ayrıca, hava durumu verilerinin dahil edilmesiyle birlikte modelin öğrenme yeteneği ve performansı da artmıştır. Şekil 5'te ortalama MAPE hata performansı iyileşme oranlarının saatlik bazda değişimi gösterilmiştir. Bu da hava durumu verilerinin büyük bir değer taşıdığını ve modellerin daha güvenilir sonuçlar üretebilmesini sağladığını göstermektedir. Özellikle elektrik yük tahmini gibi hava koşullarına bağlı olarak değişkenlik gösteren tahminlerde, hava durumu verilerinin dahil edilmesi büyük bir önem arz etmektedir.

**Şekil 18. Performans iyileşme değişimi**

4.TARTIŞMA

Bu çalışmada, hava durumunun kısa vadeli elektrik yük tahmini üzerine etkisi araştırılmıştır. Hava durumu verilerinin dahil edildiği ve edilmediği veri setleri kullanarak modeller eğitilmiş ve test edilmiştir. Veri setleri, eksik değerlerin kontrolü, aykırı değer tespiti ve ölçeklendirme gibi ön işlemlerden geçirilmiştir. Her iki durum için de eğitim ve test veri setleri ayrılarak modeller bu veri setleri üzerinde değerlendirilmiştir. Çalışma sonuçları, hava durumu verilerinin elektrik yük tahmini performansı üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir.

Bu sonuçlar, enerji sektöründe planlama ve operasyonel süreçlerin daha güvenilir bir şekilde yürütülmesine katkı sağlayabilir ve elektrik talebinin yönetimi ve güç üretim planlaması gibi kritik alanlarda daha kesin ve etkili kararlar almak için kullanılabilir. Hava durumu verilerinin doğru bir şekilde analiz edilmesi, enerji şirketlerinin talep tahminlerini iyileştirmelerine olanak tanır ve böylece kaynakların daha verimli bir şekilde kullanılmasını sağlar. Hava durumu tahminlerinin güvenilirliği arttıkça, enerji tedarikçileri arasında yapılan anlaşmalar ve enerji dağıtım stratejileri daha etkili bir

şekilde yönetilebilir. Yüksek doğruluk seviyelerine dayalı bir tahmin sistemi, enerji şirketlerine talep dalgalanmalarına hızlı bir şekilde tepki verebilme yeteneği sağlar. Ayrıca, hava durumu verilerini kullanarak enerji tüketim desenlerinin analizi kolaylaşır ve enerji şirketlerine enerji kaynaklarının kullanımını optimize etme ve enerji verimliliğini artırma konusunda önemli bilgiler sağlar.

KAYNAKLAR

- CHANDRASEKARAN, R., & PARAMASIVAN, S. K. (2024). Advances in Deep Learning Techniques for Short-term Energy Load Forecasting Applications: A Review. *Archives of Computational Methods in Engineering*.
- EKONOMOU, L., CHRISTODOULOU, C. A., & MLADENOV, V. (2016). A short-term load forecasting method using artificial neural networks and wavelet analysis. *International Journal of Power Systems*.
- ERGÜL AYDIN, Z., İÇMEN ERDEM, B., & ERZURUM ÇİÇEK, Z. İ. (2023). Prediction bike-sharing demand with gradient boosting methods. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 29(8), 824–832.
- ERİŞEN, E., İYIGUN, C., & TANRISEVER, F. (2017). Short-term electricity load forecasting with special days: an analysis on parametric and non-parametric methods. *Annals of Operations Research*, 1–34.
- FAHAD, M. U., & ARBAB, N. (2014). Factor Affecting Short Term Load Forecasting. *Journal of Clean Energy Technologies*, 2(4), 305–309.
- FARSI, B., AMAYRI, M., BOUGUILA, N., & EICKER, U. (2021). On short-term load forecasting using machine learning techniques and a novel parallel deep LSTM-CNN approach. *IEEE Access*, 9, 31191–31212.
- FEINBERG, E. A., & GENETHLIOU, D. (2005). *Applied Mathematics for Restructured Electric Power Systems Chapter 12 Load forecasting*.
- HAFIZ, F., DE QUEIROZ, A. R., & HUSAIN, I. (2018). Solar generation, storage, and electric vehicles in power grids: Challenges and solutions with coordinated control at the residential level. *IEEE Electrification Magazine*, 6(4), 83–90.
- HONG, T., & FAN, S. (2016). Probabilistic electric load forecasting: A tutorial review. *International Journal of Forecasting*, 32(3), 914–938.
- KUO, P. H., & HUANG, C. J. (2018). A high precision artificial neural networks model for short-Term energy load forecasting. *Energies*, 11(1).
- MEHIGAN, L., DEANE, J. P., GALLACHOIR, B. P. Ó., & BERTSCH, V. (2018). A review of the role of distributed generation (DG) in future electricity systems. In *Energy* (Vol. 163, pp. 822–836). Elsevier Ltd.
- microsoft.com/tr-tr. (2023, December 6). <https://learn.microsoft.com/tr-tr/azure/cosmos-db/notebooks-overview>
- OpenMeteo. (2024). <https://open-meteo.com/en/docs/historical-weather-api>
- PROKHORENKOVA, L., GUSEV, G., VOROBEOV, A., DOROGUSH, A. V., & GULIN, A. (2017). *CatBoost: unbiased boosting with categorical features*. <http://arxiv.org/abs/1706.09516>
- RODGERS, J. L., & NICEWANDER, ; W ALAN. (1988). Thirteen Ways to Look at the Correlation Coefficient. In *The American Statistician* (Vol. 42, Issue 1).
- Seffaflik. (2024). <https://seffaflik.epias.com.tr/home>
- SOBHANI, M., HONG, T., & MARTIN, C. (2020). Temperature anomaly detection for electric load forecasting. *International Journal of Forecasting*, 36(2), 324–333.
- TSALIKIDIS, N., MYSTAKIDIS, A., TJORTJIS, C., KOUKARAS, P., & IOANNIDIS, D. (2023). Energy load forecasting: one-step ahead hybrid model utilizing ensembling. *Computing*.
- WEISSTEIN, E. W. (n.d.). *Correlation*. Retrieved February 8, 2024, from <https://mathworld.wolfram.com/Correlation.html>

ANALYSIS OF THE EFFECTS OF AUTOCLAVE, VACUUM INFUSION AND 3D METHODS ON PRODUCTION EFFICIENCY AND COST IN DEFENCE INDUSTRY

Osman Furkan Koçyiğit

Ankara Yıldırım Beyazıt University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Defense Technologies, *kocyigitosmanfurkan@gmail.com*, ORCID: 0000-0002-4961-1836

Prof. Dr. Hüseyin Canbolat

Ankara Yıldırım Beyazıt University, Electrical and Electronics Eng. *huseyin.canbolat@aybu.edu.tr*, ORCID: 0000-0002-2577-0517

Abstract

The aim of this study is to comparatively analyze the production efficiency and cost performance of autoclave and vacuum infusion, two composite production methods widely used in the defense industry, and three-dimensional (3D) printing technologies, which have gained importance in recent years. In the first part of the study, the basic principles, process parameters and application areas of all three methods in the defense industry are introduced. In the second part, performance indicators such as cycle time, material utilization efficiency, labor intensity, labor intensity, energy consumption and waste rate as well as unit part costs were measured through case studies and experimental prototypes based on real production data. In the light of the data obtained, it was determined that although the autoclave process offers high mechanical strength and consistent quality, it increases the production cycle time and investment cost due to long drying and heat treatment times, especially for large-volume parts; vacuum infusion provides an optimal intermediate solution with lower equipment and consumable costs while providing intermediate mechanical properties; 3D printing technologies, on the other hand, despite the advantages of design flexibility and low labor cost, have not yet been fully adapted to mass production due to the mechanical strength limitations of the additive manufacturing structure and the slowness in printing speed. As a result, it is suggested that the use of 3D printing for functional prototype production and low-volume applications in the defense industry, and the use of autoclave and vacuum infusion methods for high-performance, repeatable and large-volume components, together or with hybrid approaches, provides the best balance of efficiency and cost.

Keywords: Composite production methods, Autoclave process, Vacuum infusion, 3D printing technologies, Production efficiency, Cost analysis

1. INTRODUCTION

Composite materials are widely used in critical structural parts, especially in the defense industry, thanks to their high strength-to-weight ratio, impact resistance and superior performance against corrosion. Composites can meet both structural and functional requirements in a wide range of applications, from aerospace vehicles to armored land systems, unmanned aerial vehicles to missile infrastructure components, and offer both weight and cost advantages over traditional metallic materials. However, the choice of composite manufacturing methods requires careful balancing of many parameters such as part size, complexity, mechanical performance requirements, production volume and cost constraints. Traditionally, there are two main composite production methods accepted in the defense industry:

- **Autoclave Processes:** It is based on the curing of prepreg materials in which fibers are pre-impregnated with resin under high pressure and temperature. While it allows for a high degree of material homogeneity and reproducible mechanical properties, the disadvantages are long heat treatment times and high investment costs for large and complex parts.

- **Vacuum Infusion (VAC):** It is a method of filling the fiber tissue with resin under vacuum. While investment and operating costs are reduced thanks to system equipment operating at low pressure and consumable costs, lower resin saturation and mechanical strength levels may occur compared to prepreg.

- In recent years, **additive manufacturing (3D printing)** technologies have added a new dimension to the defense industry supply chain by enabling the rapid production of prototypes with complex geometries. Different sub-approaches, such as melting and layer-by-layer deposition of polymeric filaments, laser sintering of metal powders or UV curing of photopolymer resins, increase design flexibility and can reduce the overall cost for low quantity parts. Currently, however, the internal structural continuity and surface quality of the material obtained by additive manufacturing remains a limiting factor in structural components requiring high strength.

Although there are studies on comparative efficiency and cost analysis of composite production methods in the academic literature, they mostly focus on a single method or concentrate only on mechanical performance. In defense industry applications, order quantities are generally low, part geometries are complex and quality assurance criteria are quite high. Under these complex conditions, a holistic evaluation of the three basic methods - autoclave, vacuum infusion and 3D printing - in terms of both process efficiency and unit part cost is still missing in the literature.

The main objective of this paper is to analyze these three production methods that have a high potential for use in the defense industry;

- Cycle Times (cycle time and setup times),
- Material and Energy Consumption,
- Labor and Equipment Intensity,
- Regeneration Rates with Production Waste,
- Unit Part Costs

in terms of critical performance indicators, such as the performance of the defense industry. Through case studies based on field data and laboratory-scale prototype manufacturing experiments, the research aims to provide quantitative and qualitative findings on the advantages and limitations of each method and the conditions under which it can be preferred in the defense industry.

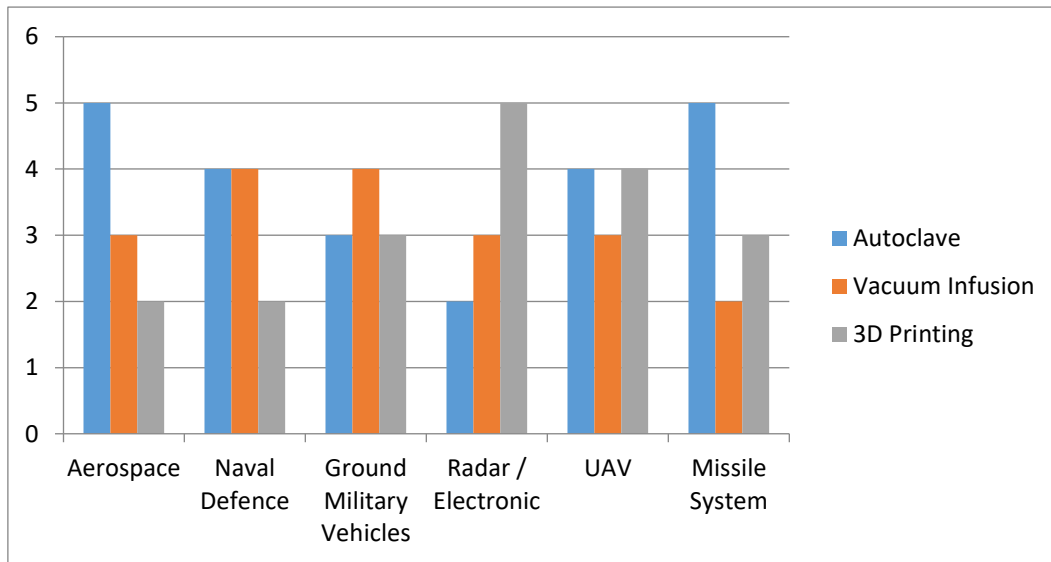


Figure 2. Sectoral Based Production Method Preference Graph in Defense Industry

Autoclave is the first choice for aerospace and missile systems where high strength and consistent quality are required. Vacuum infusion is the ideal choice for medium-volume marine and land vehicle applications where cost-recovery balance is important. Additive manufacturing (3D printing) stands out in radar/electronics and UAV/UAV projects where complex geometry and rapid prototyping are critical.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1 Sizing and Cutting:

The composite precursor (prepreg) and glass fiber fabric are cut to standard ASTM D3039 tensile specimen dimensions ($250 \times 25 \times 2$ mm). G-coefficient slicing settings are applied in accordance with the ISO 527-2 type 1B ($80 \times 10 \times 4$ mm) profile template for the 3D printed specimen.

2.2 Lay-Up:

Prepreg specimens are stacked in 8 layers in $0^\circ/90^\circ$ layer orientation. Resin delivery media and peel-ply are positioned between the glass fiber fabric layers for vacuum infusion

2.3 Autoclave Process:

Bagging: Air leakage points are checked and sealed in the vacuum bag.

- **Vacuum Application:** Pre-shooting for 15 minutes at 0.1 bar (absolute) vacuum.

- **Curing Cycle:**

Table 2.Curing Cycle

Ramp-up	Heating up to 50 °C at 2 °C/min
Heat retention	60 min at 90 °C
Pressure	5 bar fixed
Ramp-up	Heating up to 120 °C at 2 °C/min
Heat retention	120 min at 120 °C

- **Cooling and Demolding:** Controlled cooling to room temperature, followed by bag and mold removal.

2.4 Vacuum Infusion Process

- **Mold Preparation:** The infusion surface is coated with release agent.

- **Layout and Media:** Fiber layers are placed with peel-ply and dispensing media on top.

- **Resin Pumping:** At 25 °C, the resin is drawn from the tank into the mold under 0.2 bar vacuum.

- **Average infusion time:** 15-20 min.

- **Curing:** 24 hours at 25 °C followed by heating at 60 °C for 8 hours.

2.5 3D Printing Process

Slicing Settings

- **Layer height:** 0.2 mm

- **Filling:** 50% in-line

- **Print speed:** 40 mm/s

- **Pressure:** 400 °C nozzle, 150 °C table for PEEK; 220 °C nozzle, 60 °C table for CF-PLA.

- **Post-processing:** Support materials are removed mechanically.

2.5 Productivity Measurement and Cost Analysis

- **Time Recording:** For each step, the process time (hr/min) is recorded with a stopwatch.

Total production cycle time (Working + Cooling + Preparation) is calculated.

- **Energy Consumption:** Consumption in kWh is monitored from the electricity meter of the autoclave, vacuum pump and 3D printer.

- **Raw Material and Consumables Costs:** Prepreg / TL cost per meter, resin / dosage, filament / cost per meter. Consumables (vacuum bag, peel-ply) cost.

- **Labor:** Average preparation and cleaning time per sample, priced according to labor cost per hour in Turkey (TL/hour).

- **Cost Model:** Activity Based Costing (ABC): Resource consumption, labor and consumables costs of each step are added separately and “TL/sample” is calculated.

- **Productivity Indicators:** Parts/hr: Maximum production per day. Cycle Time (min/piece) Scrap Rate (%) Failed sample rate.

Table 3 Material-Characteristics and Purpose

Material / Equipment	Characteristics	Purpose
Carbon Fiber Prepreg	60% fiber ratio; Epoxy based prepreg, T=0.125 mm thickness	To produce composite specimens with high strength/moment resistance
Glass Fiber Fabric	200 g/m ² weight; Impregnated with heat resistant boron-silica resin	Creating a reference composite layer in vacuum infusion samples
Epoxy Resin (A/B)	Viscosity: 400 mPa-s; Curing time: 4 hours @ 120 °C	As vacuum infusion and prepreg resin
Vacuum Bag and Peel-Ply	0.05 mm thick vacuum bag; Synthetic polyester peel-ply	For air leakage prevention and surface quality control
3D Printer (FDM)	Nozzle diameter: 0.4 mm; Heated table and environmental chamber; Max. 300 °C	To produce technical thermoplastic parts
Filament: PEEK / CF-PLA	PEEK: 450 °C printing requirement; CF-PLA: 20% carbon filler	Prototype/functional parts requiring high mechanical and thermal strength
Autoclave	Max. pressure: 7 bar; Max. temp: 200 °C	Curing under controlled pressure and temperature for prepreg specimens
Vacuum Pump	Shooting up to 10 ⁻² mbar	Ensure the required vacuum level for the vacuum infusion process
Thermocouple and Pressure Sensors	±0.5 °C accuracy; ±0.1 bar accuracy	For registration and validation of process parameters
Time and Energy Meter	Digital meters	To measure process time and energy consumption in each method

3. RESULTS

3.1 Production Time and Productivity

Autoclave Process: High pressure and temperature control ensured the highest mechanical performance per single piece, while the total cycle time (preparation + curing + cooling) averaged 6-8 hours. Production rate is low, labor and equipment occupation is high.

Vacuum Infusion: The process took 4-5 hours per sample on average; although the infusion time was short (15-20 minutes), the resin placement and subsequent storage time brought the productivity to the middle level.

3D Printing: Especially for prototypes and low-volume production, printing time is the fastest method with only 1-2 hours/sample and 3-4 hours including post-process time. However, for large-volume parts, printing time increases rapidly.

3.2 Cost Analysis

Autoclave: High cost of raw material (prepreg), energy consumption and labor, so cost per piece is highest (40-50% higher).

Vacuum Infusion: Fiber and resin cost 20-30% lower; vacuum bag and media consumption add additional cost, but more economical than autoclave.

3D Printing: Filament-based production material cost is the lowest. Labor costs are minimal as energy consumption and operator intervention are low. However, technical thermoplastic filament prices and the print failure rate (5-10%) may slightly increase the cost.

3.3 Quality and Mechanical Performance

Autoclave: Lowest porosity and highest tensile/stretch strength.

Vacuum Infusion: 5-10% higher porosity and 10-15% loss in mechanical strength compared to autoclave.

3D Printing: Tensile strength is 20-30% lower than vacuum infusion due to interlayer adhesion limit; thermal strength can meet critical limits with proper material selection.

3.4 General Evaluation and Recommendations

For series and critical parts, the autoclave-assisted prepreg method is suitable as mechanical performance and standard compliance are critical;

For medium volume production and cost sensitivity, vacuum infusion offers a balanced option;

For prototype development, low quantity or mixed geometry parts, 3D printing offers a fast and economical solution.

3.5 Limitations of the Study and Future Work

Different resin systems and filament types should be tested over a wider range.

Energy and labor productivity dynamics may change when scaling up; analysis of the transition from pilot to mass production would be useful.

The performance and cost advantages of hybrid approaches (e.g. mixed 3D printed skeleton + infusion) could be investigated.

In conclusion, all three methods have their own use cases and priorities. Choosing the most appropriate method considering part functionality, production quantity and budget constraints in the defense industry will maximize total productivity and cost effectiveness.

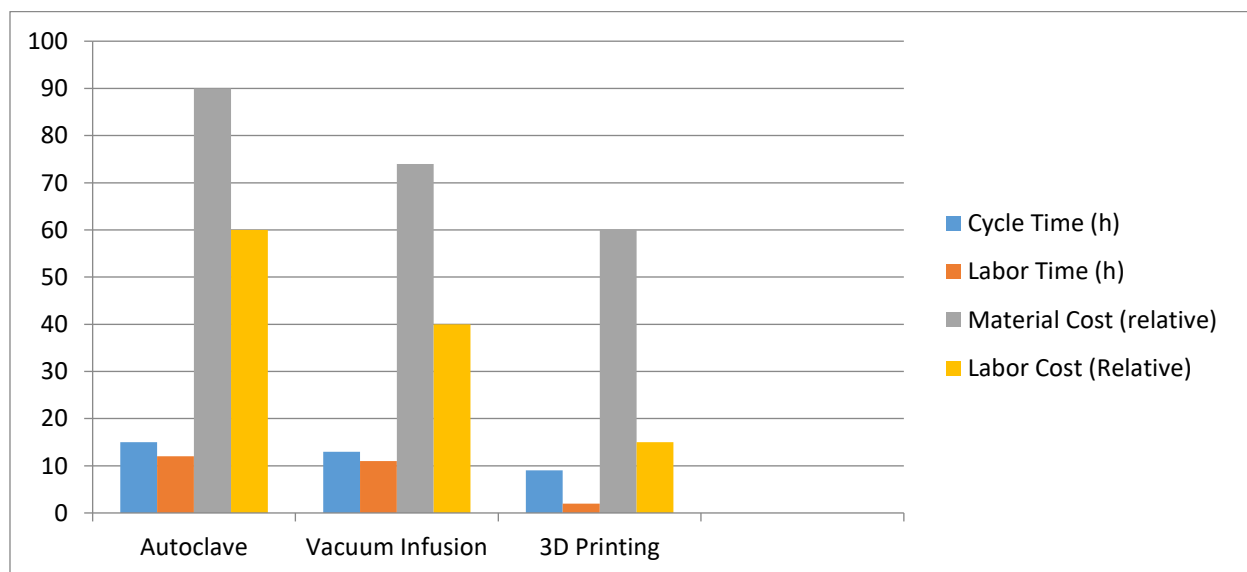


Figure 3-Production Methods: Time And Cost Breakdown

4. DISCUSSION

In this section, the advantages and disadvantages of all three methods (autoclaved prepreg, vacuum infusion, 3D printing), their application areas and future implications will be discussed.

4.1 Evaluation on Production Time and Productivity

- Autoclave Process

While autoclave prepreg curing provides high mechanical properties, long cycle times (6-8 hours) have limited production efficiency. Critical equipment bottlenecks and high labor requirements, especially in mass production, have limited the number of parts per day.

- Vacuum Infusion

Vacuum infusion offers lower equipment investment cost and moderate cycle time (4-5 hours) compared to autoclave. However, the waiting times for even distribution of resin in the mold has been a factor limiting overall productivity. Multiple mold usage strategies are recommended to minimize these waiting times in production planning.

- 3D Printing

While 3D printing is the fastest method, the time increases linearly as print volume and geometric complexity increase. While ideal for prototypes and low-volume production, the efficiency advantage decreases for large and thick parts. This highlights the limitations of support structures and additive printing in mass production.

4.2 Cost Analysis and Economic Efficiency

- Raw Material and Energy Costs

While the prepreg material used in the autoclave triggered high unit costs, high energy consumption significantly increased the cost per piece. Although vacuum infusion reduces the cost with the combination of resin and fiber, the continuous supply of consumables (vacuum bags, media) creates additional costs. The unit price of filament for 3D printing provides the lowest cost advantage, but the sometimes high price of technical thermoplastic filaments can be a disadvantage for cost semi-standard parts.

- Labor and Operational Costs

In autoclave and vacuum infusion, operator intervention is intensive; preparation, bagging and post-curing clean-ups increase labor costs. In 3D printing, on the other hand, the degree of automation is high and operator supervision is only required at the start of printing and in the post-process stages. As a result, the labor share of 3D printing is 30-40% lower.

4.3 Mechanical Performance and Quality Comparison

- Porosity and Strength

In the autoclaved prepreg samples, porosity was minimal and tensile and loop strength showed the highest values. While 5-10% more pores and 10-15% loss of mechanical performance were observed in vacuum infusion samples, 20-30% lower tensile strength was detected in 3D printing due to interlayer adhesion limits.

- Surface Quality and Tolerances

The prepreg autoclave method offered the best results in terms of surface tolerances and dimensional accuracy. Vacuum infusion produced minimal surface roughness after removal of the media and peel-ply layers, whereas 3D printing left layer lines and traces of the support structure more pronounced. This may increase the need for finishing (e.g. CNC leveling, coating) on functional parts.

4.4 Implementation Areas and Strategic Recommendations

- Critical and High Performance Components

In aerospace and defense critical applications, the autoclaved prepreg method should be preferred as mechanical strength and long life are of priority.

- Medium Scale Production

If a balance between low volumes and cost sensitivity is required, vacuum infusion keeps both equipment cost and operational complexity moderate.

- Rapid Prototyping and Customization

3D printing is ideal for R&D, design validation and low-volume production with the advantage of short lead times and geometric freedom. It saves time and costs in the production of complex internal structures or functional test parts.

4.5 Limitations of the Study and Future Directions

- Number of Samples and Scale

The current study was conducted on limited threshold sample sets at laboratory scale. The dynamics of efficiency and cost may change when moving from pilot to mass production.

- Material Diversity

Only one resin system and two filament types were evaluated. The future addition of a portfolio of high performance resins and hybrid filaments will increase the generalizability of the results.

- Environmental and Logistical Factors

Energy resources and material supply chain disruptions can affect application performance. It is recommended to integrate sustainable material use and logistics risk analysis in the studies.

This discussion combines the empirical findings of the study with the requirements for application in the defense industry, revealing the strategic position and potential development areas for each method.

5. CONCLUSION

In this study, a comparative analysis of three production methods widely used in the defense industry - autoclave assisted prepreg curing, vacuum infusion and 3D printing - was carried out in terms of productivity, cost and mechanical performance. In the light of the findings, the following main conclusions were made:

- Performance and Quality Priority: The highest mechanical strength, lowest porosity and the most precise dimensional tolerance were achieved in the autoclaved prepreg method. This method should be the first choice for critical and high load-bearing defense components.

- Cost-Efficiency Balance: Vacuum infusion offers moderate mechanical performance with lower raw material and equipment costs, making it a suitable alternative for cost-quality balanced applications.

- The Need for Speed and Flexibility: 3D printing is the most economical and fastest solution for prototype development and low-volume production thanks to its short cycle times and flexible adaptation to complex geometries; however, performance degradation should be considered when large parts and high mechanical expectations are involved.

As a result, the strategic advantage of each method can be optimized by considering application requirements, production quantity, budget and mechanical performance priorities in the defence industry. Further studies are recommended to demonstrate the potential of combining these methods with hybrid approaches and scale-up analyses and their efficiency in real factory conditions.

ACKNOWLEDGEMENTS

I would like to express my deepest thanks and respect to my esteemed tutor Prof. Dr. Hüseyin CANBOLAT, who supported me while preparing this paper and guided my studies with his vast knowledge and experience.

REFERENCES

- Ekuaase, O. A., Anjum, N., Eze, V. O. & Okoli, O. I. (2022). A Review on the Out-of-Autoclave Process for Composite Manufacturing. *Journal of Composites Science*, 6(6), 172. doi:10.3390/jcs6060172 MDPI
- Dong, A., Zhao, Y., Zhao, X. & Yu, Q. (2018). Cure Cycle Optimization of Rapidly Cured Out-of-Autoclave Composites. *Materials*, 11(3), 421. doi:10.3390/ma11030421 MDPI
- Yang, Y.-H. & Young, W.-B. (2021). Carbon/Epoxy Composites Fabricated by Vacuum Consolidation of the Interleaved Layup of Prepregs and Dry Fibers. *Fibers and Polymers*, 22(4), 460–468.
- Torrado, A. R. & Roberson, D. A. (2017). Failure Analysis of 3D-Printed Polymer Composite Materials. *Regenerative Engineering and Translational Medicine*, 3(1), 39–46. doi:10.1007/s40883-017-0022-0
- Nicholls, J. R. & Roberson, D. A. (2015). Mechanical Characterization of Carbon Fiber Reinforced Composites Produced by FDM. *Materials & Design*, 92, 75–82. doi:10.1016/j.matdes.2015.11.052
- Robitaille, S. N., Bréard, F. & Trochu, F. (2012). Advances in Vacuum Infusion Processes: Curing and Mechanical Performance of Composite Laminates. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 43(3), 407–413. doi:10.1016/j.compositesa.2011.11.010
- Salas, A. & Nieva, P. (2021). Comparative Cost Analysis of Composite Manufacturing Techniques for Large-Scale Applications. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 143(6), 061007. doi:10.1115/1.4048864
- Yılmaz, A. & Kaya, O. (2023). Savunma sanayinde kompozit imalat: Otoklav, vakum infüzyon ve 3B baskı yöntemlerinin karşılaştırmalı maliyet analizi. *Savunma Bilimleri Dergisi*, 22(1), 45–62.
- ASTM International. (2016). ASTM D2734-16: Standard Test Method for Void Content of Reinforced Plastics. West Conshohocken, PA.
- Kruth, J.-P., Levy, G., Klocke, F. & Childs, T. H. C. (2007). Consolidation Phenomena in Laser and Powder-Bed Based Layered Manufacturing. *CIRP Annals*, 56(2), 730–759. doi:10.1016/j.cirp.2007.10.004

ASPERGILLUS NİGER'DEN ELDE EDİLEN KÜLTÜR FİLTRATININ YONCANIN (MEDİCAGO SATİVA L.) EMBRİYOJENİK KALLUSUNUN ÜZERİNE ETKİSİ

Arş.Gör. AYŞE ÜSTÜN BAŞKUT

Erzurum Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü
ayse.ustun@erzurum.edu.tr

Dr. BÜŞRA YAZICILAR

Erzurum Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü
busra.yazicilar21@erzurum.edu.tr

MERVE ŞİMŞEK GEYİK

Erzurum Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü
merve.simsek49@erzurum.edu.tr

Özet

Bitki kallus kültürleri, farklı hormonların uygulanması veya stres faktörlerine maruz kalma gibi çeşitli koşullar altında farklı biyokimyasal ve fizyolojik tepkiler gösterir. Bitki büyümesini teşvik etmek için, bu fizyolojik tepkilere karşı yeni ve etkili stratejiler geliştirmek önemlidir. Bu çalışmada, *Aspergillus niger*'den elde edilen kültür filtratının (KF) *Medicago sativa* L. (yonca) bitkisinde embriyojenik kallus oluşumu üzerindeki morfolojik ve biyokimyasal etkileri incelenmiştir. Morfolojik olarak, CF ile muamele edilen kültürler kontrole göre daha iyi özellikler sergilemiştir. Biyokimyasal analizler, sükröz ve CF ile muamele edilen gruplarda önemli bir artış olduğunu ortaya koymuştur. KF uygulamaları ayrıca toplam fenolik içeriğini artırmış ve lignin içeriği kontrole kıyasla azalmıştır. Özetle, bulgular *A.niger*'den elde edilen CF'nin yonca kallusunun çeşitli biyokimyasal ve morfolojik özelliklerini etkileyebileceğini ve bitki doku kültürü sistemlerinde somatik embriyogenezi geliştirmek için potansiyel çıkarımlar sunduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: *Medicago sativa*, kallus, fenolik içerik, *Aspergillus niger*, lignin

EFFECT OF CULTURE FILTRATE FROM *ASPERGILLUS NIGER* ON EMBRYOGENIC CALLUS FROM ALFALFA (*MEDICAGO SATIVA* L.)

Abstract

Plant callus cultures present different biochemical and physiological responses under various conditions, such as the application of different hormones or exposure to stress factors. In order to promote plant growth, it is important to develop new and effective strategies to counter these physiological responses. This study examines the morphological and biochemical impacts of culture filtrate (CF) extracted from *Aspergillus niger* on embryogenic callus formation in *Medicago sativa* L. (alfalfa). Morphologically, CF-treated cultures exhibited better characteristics than the control. Biochemical analyses revealed a significant increase in sucrose and CF-treated groups. CF treatments also increased total phenolic content and lignin content decreased compared to the control. In summary, the findings suggest that CF from *A.niger* can influence various biochemical and morphological characteristics of alfalfa callus, offering potential implications for enhancing somatic embryogenesis in plant tissue culture systems.

Keywords: *Medicago sativa*, callus, phenolic content, *Aspergillus niger*, lignin

1. GİRİŞ

Yonca (*Medicago sativa* L.), yüksek protein içeriği ve yem kalitesi nedeniyle dünya genelinde yaygın olarak yetiştirilen önemli bir yem bitkisidir (Brummer, 1999). Modern bitki biyoteknolojisi uygulamaları, özellikle doku kültürü teknikleri sayesinde, yoncanın genetik ıslahı ve hızlı çoğaltılması

mümkün hâle gelmiştir. Bu bağlamda, embriyojenik kallus kültürlerinin elde edilmesi, somatik embriyogenez ve genetik transformasyon çalışmaları için kritik bir adımdır (McKersie & Bowley, 1993).

Bitki doku kültürlerinde kallus oluşumunu ve gelişimini etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Bunlar arasında ortam bileşenleri, fitohormonlar ve dışsal biyotik/abiyotik ajanlar sayılabilir. Son yıllarda, mikrobiyal kaynaklı bileşiklerin bitki hücrelerinin büyüme ve farklılaşması üzerindeki etkileri giderek daha fazla araştırılmaktadır (Bharti et al., 2013). Özellikle toprak mikroorganizmaları tarafından salgılanan metabolitlerin, bitki hücreleri üzerinde biyostimülan etkiler oluşturabileceği bildirilmiştir.

Aspergillus niger, toprakta yaygın olarak bulunan, filamentöz bir küf türüdür ve birçok sekonder metabolit üretme kapasitesiyle bilinmektedir. Bu fungus, organik asitler (özellikle sitrik asit), enzimler (selüloz, pektinaz, glukonaz vb.) ve fitohormon benzeri bileşenler üretebilir (Schuster et al., 2002). Literatürde, bu tür mikrobiyal kültür filtratlarının bitki hücre büyümesini teşvik edebileceği ve kallus oluşumunu etkileyebileceği gösterilmiştir (Hasan et al., 2011). Ancak, *A. niger*'den elde edilen kültür filtratının özellikle yonca gibi ekonomik öneme sahip bir türün embriyojenik kallus gelişimi üzerindeki etkilerine dair çalışmalar sınırlıdır.

Bu çalışmanın amacı, *Aspergillus niger*'den elde edilen kültür filtratının yonca (*Medicago sativa* L.) embriyojenik kallus oluşumu ve gelişimi üzerindeki etkilerini araştırmaktır. Böylece, bitki biyoteknolojisi alanında mikrobiyal kökenli biyoaktif bileşiklerin potansiyel kullanımına dair yeni bulgular elde edilmesi hedeflenmektedir.

2. MATERYAL VE METOD

Aspergillus niger'den kültür filtratı eldesi-kallus geliştirilmesi

Aspergillus niger 7 gün PDA besiyerinde, 7 gün PDB sıvı besiyerinde büyütülmüş ve besiyerinden süzülen süzöntü 0,22 PES filtreden geçirilmiştir. Elde edilen sıvı KF olarak adlandırılmıştır.

Kallus indüksiyonu, yaprak eksplantlarının 1 mg/mL 2,4-diklorofenoksiasetik asit (2,4-D), 0,5 mg/mL kinetin ve farklı konsantrasyonlarda KF ve KF'siz Murashige ve Skoog (MS) ortamında (Murashige and Skoog 1962) kültüre alınmasıyla gerçekleştirilmiştir. Kültürler $25 \pm 2^\circ\text{C}$ 'de, 16/8 saatlik aydınlık/karanlık fotoperiyot ve $40 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ışık yoğunluğu altında muhafaza edilmiştir. Kallus gelişimi 30 gün devam etmiştir.

Kallusların sükroz içeriğinin belirlenmesi

Kallus örnekleri (100 mg) önce sıvı nitrojen kullanılarak ince bir toz haline getirilmiştir. Toz haline getirilen örnekler daha sonra %80 etanol ekstraksiyon tamponu içeren santrifüj tüplerine aktarılmıştır. Tüpler 10 dakika boyunca 80°C 'de su banyosunda inkübe edilmiş, ardından 10 dakika boyunca 5000 rpm'de santrifüj edilmiştir. Elde edilen süpernatant, oda sıcaklığına soğutulmadan önce 30 dakika süren renk giderme işlemi için 80°C 'de aktif karbon ile muamele edilmiştir. Safsızlıkları gidermek için süpernatant tekrar 5000 rpm'de 10 dakika santrifüjlenmiştir. Standardizasyon için üç kontrol çözeltisi hazırlanmıştır: 25 μL damıtılmış su içeren bir boş tüp, 25 μL %80 etanol içeren bir standart tüp ve 15 μL NaOH içeren bir referans tüp. Daha ileri işlemlerden önce numuneler kaynar su banyosunda yaklaşık 5 dakika inkübe edilmiştir. Ardından, her bir örneğe 175 μL %30 HCl ve 50 μL %0,1 m-ksilen eklenmiştir. Tüpler iyice karışması için birkaç kez ters çevrilmiş ve ardından 30 dakika daha kaynar su banyosunda bekletildikten sonra soğutulmuştur. Hesaplama için, çeşitli konsantrasyonlarda standart bir sükroz çözeltisi hazırlanmış ve standart bir eğri oluşturmak için kullanılmıştır. Soğutulduktan sonra, sükroz içeriği 480 nm'de spektrofotometrik olarak, numunelerin absorbanansı daha önce hazırlanan sükroz standart eğrisi ile karşılaştırılarak belirlenmiştir.

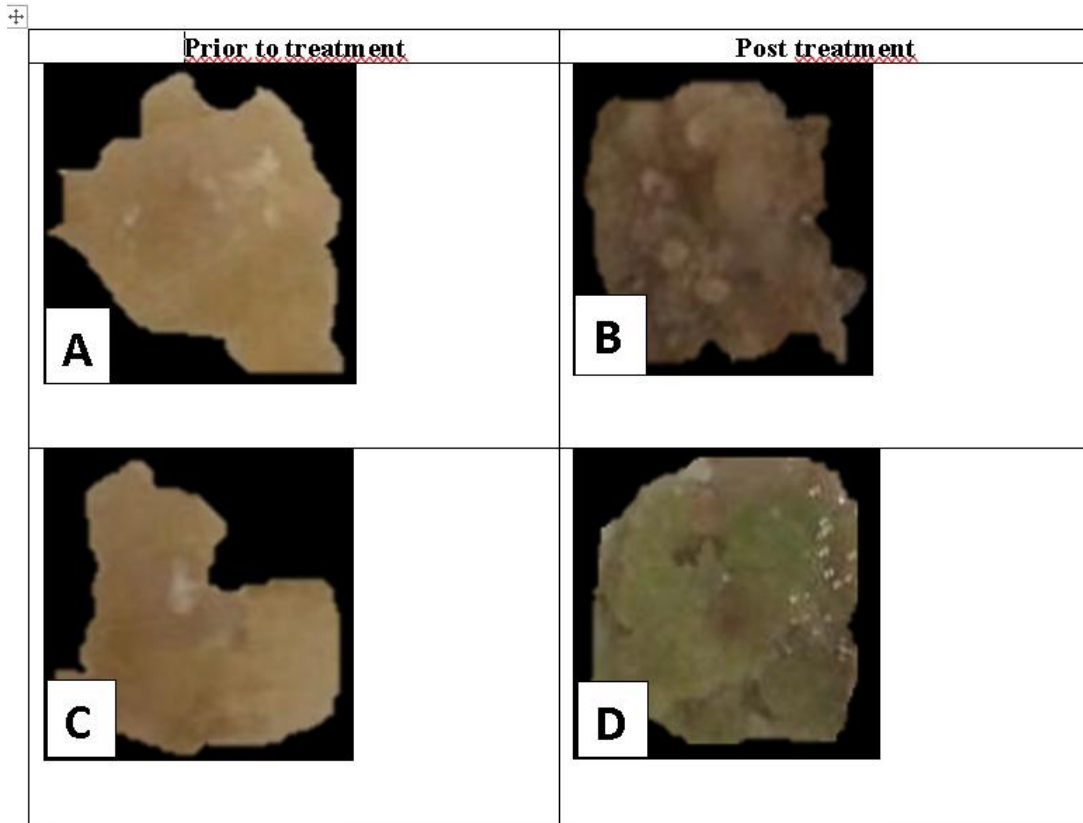
Kallusların fenolik içeriğinin belirlenmesi

Kallustaki fenolik bileşiklerin belirlenmesi için, 0,2 g doku 2 mL soğuk %80 metanol (+4 °C) içinde homojenize edilmiştir. Daha sonra, ekstraktın 0,5 mL'si 10 mL'lik bir Falcon tüpüne aktarılmış ve 2,5 mL %10'luk **Folin-Ciocalteu reaktifi** (FCR) eklenmiştir. 6 dakika sonra, 2 mL sodyum karbonat (Na_2CO_3 , %7,5) karışıma pipetlenerek toplam hacim 5 mL'ye çıkarılmıştır. Tüpler kapatıldı ve 70 °C'deki bir su banyosunda 10 dakika boyunca hafifçe çalkalanarak inkübe edildi. İnkübasyondan sonra tüpler oda sıcaklığında 30 dakika bekletildi ve ardından 4 °C'de 10 dakika boyunca 12.000 rpm'de santrifüj edildi. Süpernatanın absorbansı bir spektrofotometrede 765 nm'de bir kontrol numunesine karşı ölçülmüştür. Kontrol numunesi ekstrakt yerine 0,5 mL distile su kullanılarak hazırlanmıştır. Ekstraktlardaki toplam fenolik içerik, bilinen miktarlarda gallik asit ile oluşturulan standart bir eğri kullanılarak belirlenmiş ve sonuçlar gram doku başına μg fenolik bileşik olarak ifade edilmiştir

Kallusların lignin içeriğinin belirlenmesi

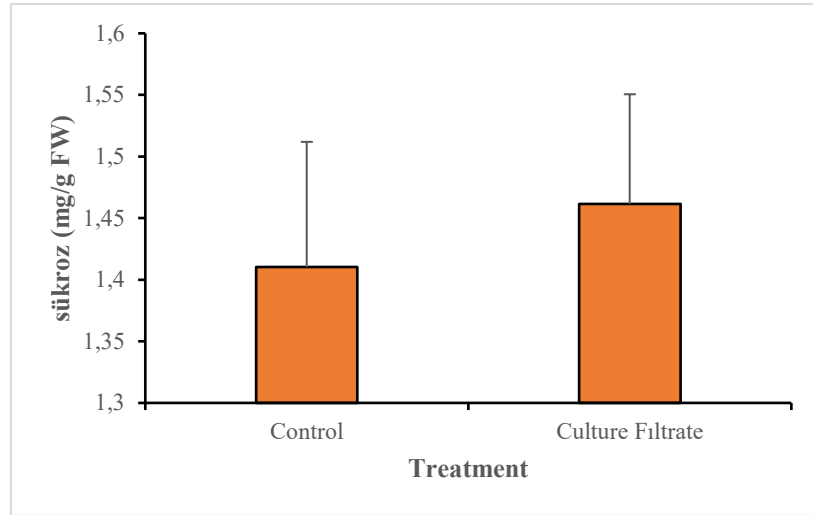
Lignin belirleme yöntemi, ligninin güçlü asit hidrolizine karşı direncine dayanmaktadır. İlk olarak, 0,5 gram kurutulmuş ve öğütülmüş bitki örneği 30 mL %72 H_2SO_4 ile muamele edilir ve polisakkaritleri ve diğer makromolekülleri hidrolize etmek için 24 saat boyunca 20-25°C'de tutulur. Bu sürenin sonunda asidi seyreltmek için 300 mL damıtık su eklenir ve hidrolizi tamamlamak için karışım 1 saat kaynatılır. Esas olarak lignin olan kalan katı kalıntı vakum filtrasyonu ile ayrılır ve damıtılmış su ile yıkanır (Sluiter et al. 2004). Numune daha sonra 60°C'de sabit bir ağırlığa kadar kurutulur ve tartılır. Lignin içeriği şu formül kullanılarak hesaplanır: $W (\%) = (G1-W1)/G2 \times 100$ Burada W lignin yüzdesi, W1 ekstraktif materyal yüzdesi, G2 ekstraksiyon sonrası kalıntı kütlesi ve G1 kurutma sonrası nihai kütledir.

3. SONUÇ

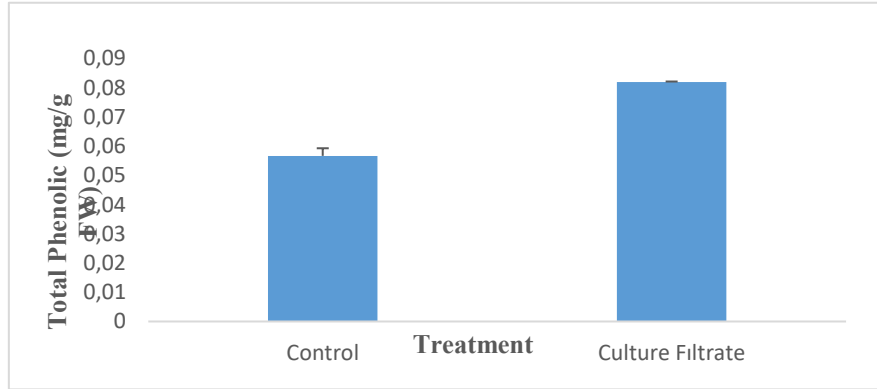


Şekil 1. Kontrol kallusları. A ve B, KF ile muamele edilen kalluslar C ve D.

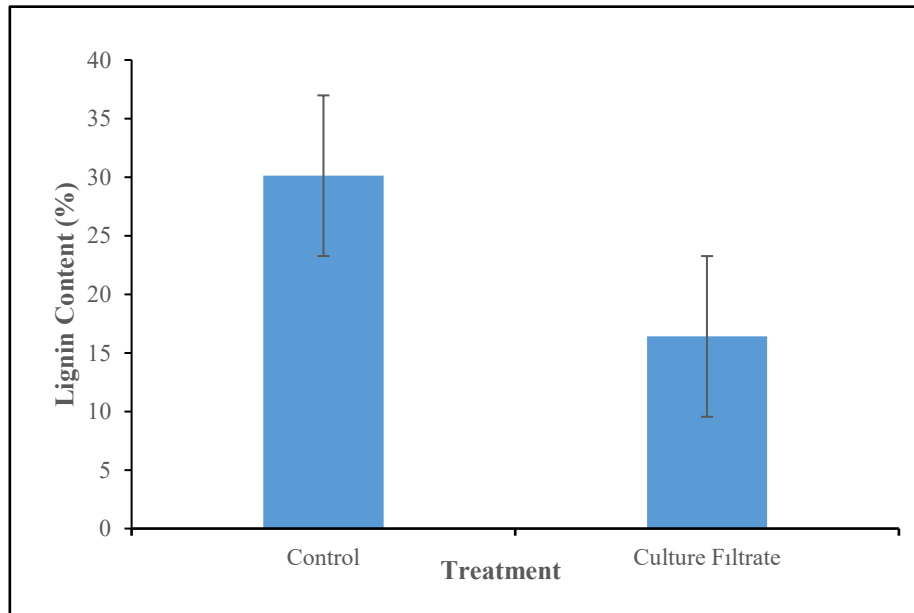
Sükroz içeriğinin belirlenmesi



Fenolik içeriğinin belirlenmesi



Lignin içeriğinin belirlenmesi



4. TARTIŞMA

A. niger kültür filtratı, embriyojenik kallus oluşumunu teşvik edebilir. Tarımsal biyoteknoloji için potansiyel biyostimülant kaynağıdır.

KAYNAKLAR

- Bharti, N., Barnawal, D., Maji, D., Kalra, A., & Chanotiya, C. S. (2013). *Exiguobacterium* oxidotolerans, a novel plant growth promoting rhizobacteria, improves yield and stress tolerance in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under salt stress. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 29(3), 511–520. <https://doi.org/10.1007/s11274-012-1203-3>
- Brummer, E. C. (1999). Capturing heterosis in forage crop cultivar development. *Crop Science*, 39(4), 943–954. <https://doi.org/10.2135/cropsci1999.0011183X003900040001x>
- Hasan, W., Hamayun, M., Khan, A. L., & Lee, I.-J. (2011). Exogenous gibberellin and indoleacetic acid promotes growth and stress tolerance of soybean (*Glycine max* L.) under salinity. *Plant Omics Journal*, 4(3), 124–132.
- Hedge, J.E., Hofreiter, B.T. (1962). Determination of total carbohydrate by anthrone method. *Carbohydrate chemistry*, 17.
- McKersie, B. D., & Bowley, S. R. (1993). Somatic embryogenesis and plant regeneration from leaf tissues of alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Plant Cell Reports*, 12, 137–140. <https://doi.org/10.1007/BF00237062>
- Murashige, T., & Skoog, F. (1962). A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. *Physiologia plantarum*, 15(3).
- Schuster, E., Dunn-Coleman, N., Frisvad, J. C., & Van Dijck, P. W. (2002). On the safety of *Aspergillus niger* – a review. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 59(4-5), 426–435. <https://doi.org/10.1007/s00253-002-1032-6>
- Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. M. (1999). [14] Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. In *Methods in enzymology* (Vol. 299, pp. 152-178). Academic press.

KARAYOLU ÜST YAPILARINDA OLUŞAN HASARLAR VE BAKIM MALİYETLERİNİN KIYASLANMASI

İnşaat Mühendisi Vildan Doğan

Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnş. Mühendisliği Bölümü
doanvildan@gmail.com, ORCID: 0009-0009-5095-5706

Dr. Öğr. Üyesi Serkan Engin

Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnş. Mühendisliği Bölümü
serkan.engin@kocaeli.edu.tr, ORCID: 0000-0001-9214-237X

Özet

Türkiye’de ulaştırmanın en önemli bölümünü karayolları oluşturmaktadır. Uzunluk olarak Türkiye’nin; karayolu ağıнын %66’sini sathi kaplamalı yollar, %29’unu asfalt yollar, %5’li stabilize, toprak, parke gibi diğer yollar oluşturmaktadır. Bu yol tiplerinden sathi, asfalt, stabilize ve toprak yollar esnek üst yapıli inşa edilmekte olup uzun yıllardan beri karayolu inşaatlarında uygulanan bir kaplama türüdür. Bu yol tiplerinden farklı olarak son yıllardan beton yollar uygulama alanı bulmuş olup, bu tip yollardaki üst yapı ise rijit olarak adlandırılmaktadır. Bahsedilen farklı yol tiplerininin yapım aşamaları ve bakım süreçleri değişmekte olup buna bağlı olarak yapım maliyetleri de farklılıklar göstermektedir. Bu çalışmada öncelikle sathi, asfalt ve beton yolların yapım aşamaları açıklanarak ve bunların maliyetleri kıyaslanmıştır. Devamında bu yolların ekonomik ömürleri, bu yollarda kullanımla birlikte zamanla oluşabilecek hasar türleri ve hasar türlerinin bakım/onarım maliyetleri karşılaştırılarak elde edilen sonuçlara göre hangi yolun tercih edilmesi gerektiği ile ilgili çıkarımlar yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sathi kaplama yol, asfalt yol, beton yol, yapım maliyeti, bakım maliyeti

COMPARISON OF DAMAGES AND MAINTENANCE COSTS OF ROAD SUPERSTRUCTURES

Abstract

Road constitute the most important part of transport in Turkey. In terms of length, 66% of Turkey's road network consists of surfaced roads, 29% of asphalt roads and 5% of other roads such as stabilised, soil and parquet. Among these road types, surface, asphalt, stabilised and earth roads are constructed with flexible superstructure and it is a pavement type that has been applied in road constructions for many years. Apart from these types of roads, concrete roads have found application area in recent years and the superstructure on these types of roads is called rigid. The construction phases and maintenance processes of the different road types mentioned vary and accordingly the construction costs also vary. In this study, firstly, the construction stages of surface, asphalt and concrete roads are explained and their costs are compared. Subsequently, the economic life of these roads, the types of damage that may occur over time with the use of these roads and the maintenance / repair costs of the damage types were compared and conclusions were made about which road should be preferred according to the results obtained.

Keywords: Surfaced road, asphalt road, concrete road, construction cost, maintenance cost.

1. GİRİŞ

Karayolu ulaşımı, modern toplumların sosyo-ekonomik gelişimi için vazgeçilmez bir unsurdur. Türkiye’de de karayolları, ulaşım ağıнын büyük bir kısmını oluşturmakta olup, bu ağıнын önemli bir bölümü esnek üstyapılar (asfalt ve sathi kaplama) şeklinde inşa edilmiştir. Esnek üstyapılar, hızlı ve kolay inşaat imkanı sunması, trafik akışını aksatmadan yolun kullanıma açılabilmesi ve düşük trafik yoğunluğunda daha ince tabakalar halinde uygulanabilmesi gibi avantajları nedeniyle yaygın olarak tercih edilmektedir. Ancak, taşıt sayısı ve çeşitliliğindeki artış, bu üstyapıların maruz kaldığı gerilmeleri artırarak, yolun servis ömründe azalmalar ve buna bağlı olarak ekonomik kayıplar meydana getirmektedir. Yol yapımında kullanılan malzemelerin beklenen performansın altında kalması ve iklim-bölge şartlarının olumsuz etkileri de yolun hizmet ömrünü olumsuz etkileyen diğer faktörlerdir. Esnek

üstyapılar içerisinde en yüksek dayanımı agrega ve bitümlü bağlayıcıların ısıtılıp karıştırılmasıyla elde edilen bitümlü sıcak karışımlar göstermektedir. Bitümlü sıcak karışımlarda bağlayıcı görevi gören bitümlü bağlayıcılar, temel olarak karbon ve hidrojenle oluşmaktadır (Yılmaz ve Ahmedzade, 2008). Yol üstyapılarının ekonomik ömrü içerisinde verimli bir şekilde kullanılabilmesi ve hizmet ömrünün uzatılabilmesi için düzenli ve yeterli bakım büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, karayolu bakım maliyetleri ve stratejileri üzerine birçok bilimsel araştırma yapılmıştır. Bu çalışmaların çoğu, performans tahmin modelleri ile maliyet analizlerini ilişkilendirmeye odaklanmıştır. Bu makale, mevcut literatürü inceleyerek, asfalt, beton yol ve sathi kaplamalarda meydana gelen hasar türlerini, bu hasarların oluşum nedenlerini ve bakım maliyetlerine etkilerini detaylı bir şekilde ortaya koymayı hedeflemektedir.

2. Karayolu Üstyapı Türleri ve Genel Özellikleri

Karayolu üstyapıları temel olarak iki ana kategoriye ayrılmaktadır: Esnek üstyapılar ve rijit üstyapılar. Bu üstyapı türlerinin tanımlaması aşağıda yapılmıştır.

2.1. Esnek Üstyapılar: Asfalt ve Sathi Kaplamalar

Esnek üstyapılar, genellikle agrega ve bitümlü bağlayıcıdan oluşan tabakalardan meydana gelir. Bu tabakalar, trafik yüklerini alt tabakalara ve zemine dağıtarak çalışır. Türkiye'deki karayolu ağının büyük bir kısmı esnek üstyapılardan oluşmaktadır.

2.1.1. Asfalt Betonlu Kaplamalar (Bitümlü Sıcak Karışımlar)

Agrega ve bitümün belirli oranlarda karıştırılmasıyla elde edilen bitümlü sıcak karışımlar, yüksek trafik hacimli ve ağır yük taşıyan yollarda tercih edilen bir kaplama türüdür. Hızlı inşaat imkanı, düzgün yüzey ve iyi sürüş konforu sağlaması avantajlarıdır. Asfalt betonlu kaplamalar için tipik bir üstyapı kesiti; 5 cm aşınma tabakası, 9 cm binder tabakası, 15 cm plentmiks temel tabakası ve 20 cm granüler alt temel tabakasından oluşabilir (Edis, 2007). Asfalt kaplama yolların yapım süreci altyapı hazırlığı ile başlayarak; zeminin taşıma kapasitesini artırmak için kazı, dolgu ve sıkıştırma işlemlerini kapsar. Drenaj sistemlerinin doğru tasarlanması, zeminde su birikmesini önleyerek yapının uzun ömürlü olmasını sağlar. Ardından, temel ve alttemel tabakaları belirlenen spesifikasyonlara uygun şekilde serilir ve yoğun bir sıkıştırma işlemine tabi tutulur. Bu katmanlar, yük dağılımını optimize ederek üst kaplamanın deformasyonunu engeller. Asfalt karışımının hazırlanması sürecinde, agrega ve bitümün karıştırma tesisinde homojen olarak birleştirilmesi kritik önem taşır. Sıcaklık kontrolü, karışımın işlenebilirliğini ve nihai performansını doğrudan etkiler. Serim aşamasında, finesher (asfalt serici makine) kullanılarak karışım belirlenen kalınlıkta ve eğimde düzgün bir şekilde yayılır. Kalınlık kontrolü, kaplamanın tasarım kriterlerine uygunluğunu garanti altına alır. Sıkıştırma, silindirlerle yapılarak hava boşluklarının minimize edilmesi sağlanır. Optimum sıkıştırma, kaplamanın trafik yüklerine karşı direncini artırır. Son olarak, kalite kontrol testleri (yoğunluk, bağlayıcı içeriği, agrega gradasyonu) ile malzeme ve işçilik standartlarının karşılandığı doğrulanır. Bu testler, asfalt kaplamanın dayanıklılığını ve servis ömrünü belirlemede kilit rol oynar. Bu süreçlerin her biri, uluslararası standartlar ve yerel şartnamelere uygun şekilde yürütülerek sürdürülebilir bir ulaşım altyapısı hedefine katkı sağlar (KGM, 2021).

2.1.2. Sathi Kaplamalar

Daha düşük trafik yoğunluğuna sahip yollarda veya düşük bütçeli projelerde tercih edilen sathi kaplamalar, mevcut yol yüzeyine bitümlü bağlayıcı püskürtülmesi ve üzerine agrega serilmesiyle oluşturulur. Genellikle 2 cm yüzey (sathi) tabakası ve 20 cm granüler temel tabakasından oluşur. Maliyet etkinliği ve hızlı uygulanabilirlik gibi avantajları bulunmaktadır (Bağdatlı, 2017). Bu yol tipinde ilk aşamada yüzey hazırlığı gerçekleştirilir. Mevcut yol yüzeyi, temizlik işlemine tabi tutularak toz, yağ ve diğer yabancı maddelerden arındırılır. Ayrıca, yüzeydeki çatlaklar özel dolgu malzemeleri ile

kapatılarak pürüzsüz bir alt zemin oluşturulur. Bu adım, kaplamanın aderansını (yapışma performansını) doğrudan etkilediğinden, uygulamanın başarısı için hayati önem taşır. Ardından, bitüm püskürtme işlemi devreye girer. Bitüm distribütörü adı verilen özel ekipmanlar kullanılarak, yüzeye kontrollü bir şekilde sıcak bitüm uygulanır. Bu malzeme, agrega ile yol yüzeyi arasında güçlü bir bağ oluşturarak su sızıntılarını engeller ve kaplamanın esnekliğini artırır. Bitümün uygulanmasının hemen ardından agrega serimi gerçekleştirilir. Çakıl serici (chip spreader) yardımıyla, belirli boyutlardaki agrega taneleri homojen bir şekilde yüzeye dağıtılır. Bu aşamada agreganın tane dağılımı ve kalitesi, kaplamanın aşınma direncini belirleyen önemli bir faktördür. Sonraki adımda, pnömatik lastikli silindirler kullanılarak agrega tabakası sıkıştırılır. Bu işlem, agrega tanelerinin bitüm içerisine gömülmesini ve yüzeyin düzgün bir şekilde yerleşmesini sağlar. Sıkıştırma kuvveti ve tekrar sayısı, kaplamanın yoğunluğunu ve dayanıklılığını doğrudan etkiler. Gerektiğinde, ikinci bir kat uygulaması yapılarak kaplamanın kalınlığı ve performansı artırılabilir. Bu durumda, aynı işlem sırası tekrarlanarak daha yüksek mukavemetli bir yüzey elde edilir (KGM, 2020).

2.2. Rijit Üstyapılar (Beton Kaplama Yollar)

Rijit üstyapılar, genellikle çimento, agrega ve sudan oluşan beton plaklardan meydana gelir. Bu plaklar, trafik yüklerini daha geniş bir alana yayarak zemine aktarır. Beton yollar, yüksek dayanıklılık, uzun hizmet ömrü ve ağır trafik yüklerine karşı dirençli olmaları nedeniyle tercih edilir. Ancak, başlangıç maliyetleri ve inşaat süreleri esnek üstyapılara göre daha uzun olabilir. Bu tip yollarda, yapım süreci asfalt betonu kaplamalarda olduğu gibi başlar. Temel ve alt temel tabakalarından sonra, şerit genişliğini ve kalınlığını belirlemek için sabit kalıplar yerleştirilerek döküm işlemi gerçekleştirilir. Beton, santralde belirli bir tasarım karışım oranına göre (su/çimento oranı, agrega gradasyonu, katkı maddeleri) üretilir. Hazırlanan karışım, transmikserlerle şantiyeye taşınır ve beton distribütörleri ile homojen bir şekilde serilir. Betonun işlenebilirliği, yerleştirme sırasında hava boşluklarının oluşmasını engellemek açısından kritik bir parametredir. Betonun priz alma sürecinde termal genleşme ve büzülmeden kaynaklı çatlakların önlenmesi için derzler açılır. Bu derzler, beton plakaların kontrollü bir şekilde hareket etmesine izin verir. Derzlerin doldurulması, su sızıntısını ve agrega aşınmasını engelleyerek yolun ömrünü uzatır. Betonun hidratasyon reaksiyonlarını tamamlayarak tasarım mukavemetine ulaşması için kürleme işlemi uygulanır. Bu aşamada, su kaybını önlemek amacıyla beton yüzeyi ıslak çuval, kimyasal kür malzemeleri veya su püskürtme yöntemleri ile korunur. Kürleme süresi ve yöntemi, betonun nihai dayanımını doğrudan etkiler (KGM, 2019).

3. Kaplama Türlerine Göre Yollarda Oluşan Bozulma Tipleri

Çalışma konusu olan esnek üst yapıya sahip “Asfalt Betonu”, “Sathi Kaplama” yollar ile rijit üst yapıya sahip “Beton Yol” bozulma türleri aşağıda verilmiştir.

3.1. Asfalt Betonu ve Sathi Kaplama Yolların Bozulma Türleri

Yorulma Çatlakları (Timsah Sırtı Çatlakları), tekrarlı trafik yükleri altında malzemenin bozulması sonucu meydana gelen bozulma türüdür (Şekil 1). **Bu yollarda meydana gelen ikinci hasar türü, Blok Çatlakları**, asfaltın yaşlanması ve termal gerilmeler nedeniyle oluşan düzensiz çatlaklardır (Şekil 2). Asfalt betonu ve sathi kaplamalarda oluşan bir diğer bozulma tipi yol eksenine paralel veya dik olarak meydana gelen **“Boyuna ve Enine Çatlaklar” oluşmasıdır** (Şekil 3). Bu tür yollardaki son bozulma türü yüksek sıcaklıklarda veya aşırı trafik yükü altında asfaltta meydana gelen plastik deformasyonlara bağlı oluşan **Tekerlek İzi**’dir.



Şekil 1. Yorulma Çatlakları (Timsah Sırtı Çatlakları)



Şekil 2. Blok çatlakları



Şekil 3. Boyuna ve enine çatlaklar



Şekil 4. Tekerlek izi oluşumu

3.2. Beton Kaplama Yollarda Bozulma Türleri

Beton yollarda meydana gelen bozulma türlerinden ilki, *Yüzey Çatlakları*'dır. Bu çatlaklar betonun erken yaşta kurumasına bağlı oluşan çatlaklar ve termal genleşmeler sonucu meydana gelen bozulmalardır. Beton yollarda meydana gelen ikinci bozulma türü, *Kenar ve Köşe Kırılmaları* olup bu bozulmalar yetersiz destek ya da birleşim noktası problemlerine bağlı olarak meydana gelmektedir. Beton yollarda meydana gelen bir diğer bozulma türü "*Yüzey Aşınması*" olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu bozulmalar, yoğun trafik, don etkisi veya beton kalitesizliği sonucunda meydana gelmektedir. Beton yollarda meydana gelen son bozulma türü "*Alkali-silika reaksiyonu (ASR)*" sebebiyle olan bozulmadır. Bu türdeki bozulma, beton içi kimyasal reaksiyon sonucu meydana gelen içten çatlamalardır (Bağdatlı, 2017).

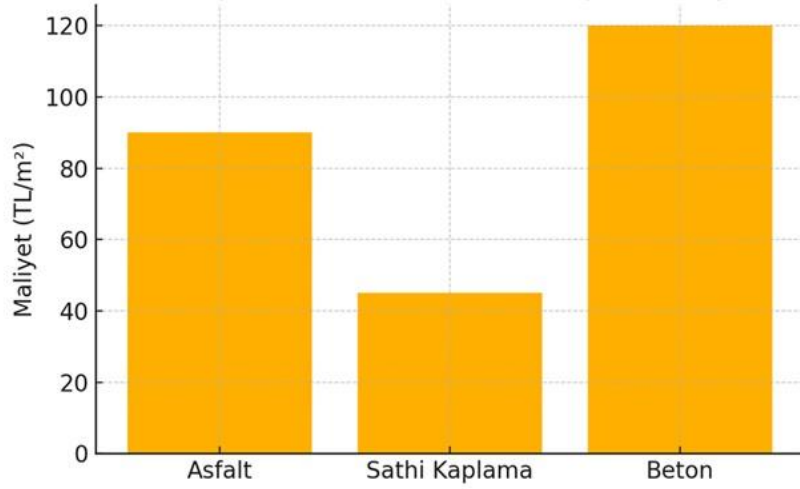
4. Yol Tipine Göre Bakım Maliyetleri

Yapılan bu çalışma kapsamında esnek ve rijit üst yapıya sahip yukarıda açıklanan yol tipleri için, Maliyet ve Bakım Hesapları 2024 yılı Karayolları Genel Müdürlüğü birim fiyatları esas alınarak yapılmış ve yapılan hesaplama sonucu elde edilen yapım ve bakım maliyetleri aşağıda yer alan Tablo 1'deki gibi elde edilmiştir. Tablo 1'de ayrıca literatürden elde edilen ortalama ömür ve bakım ihtiyacı gibi kalemler de sunulmuştur. Buna göre, asfalt betonu kaplamalar her ne kadar düşük ilk maliyete sahip olsa da 10–15 yılda bir yenileme gerektirmekte ve yıllık bakım maliyeti yaklaşık ~9 TL/m²/yıl olmaktadır. Sathi Kaplama yollar çok düşük ilk maliyet sahip olmasına rağmen, sık bakım gerektirmektedir. Bu yolların yıllık bakım maliyeti yaklaşık ~7–10 TL/m²/yıl olmaktadır. Beton kaplama yollar her ne kadar yüksek ilk maliyete sahip olsa da 25–30 yıl süren uzun ömre sahiptir. Bu yolların yıllık maliyeti yaklaşık ~4–5 TL/m²/yıl olmaktadır.

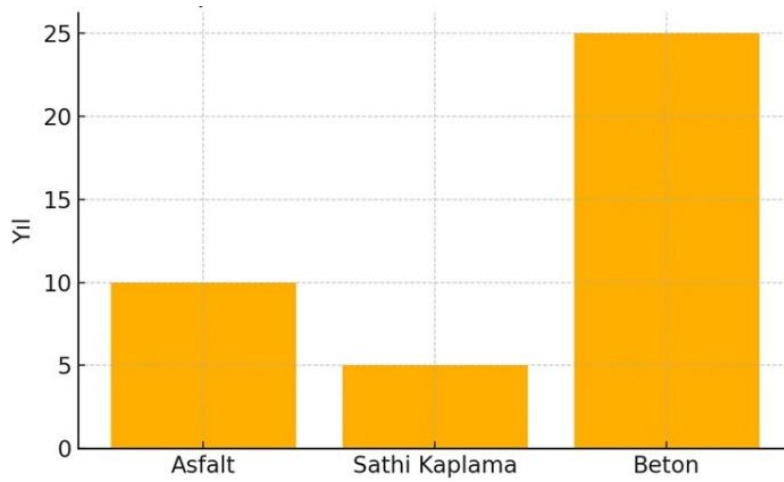
Tablo 1. Kaplama Türlerinin Karşılaştırılması

Kaplama Türü	Asfalt	Sathi Kaplama	Beton
Yapım Maliyeti (TL/m ²)	85-100	35-50	110-140
Ortalama Ömür (Yıl)	10-15	4-7	20-30
Bakım İhtiyacı	Orta	Yüksek	Düşük
Bakım Maliyeti (TL/m ² /yıl)	9	7-10	4-5

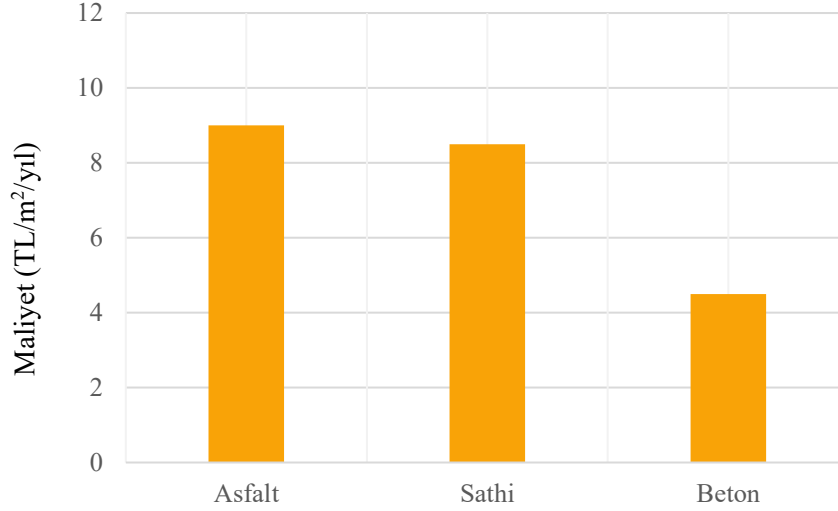
Şekil 5’de yol kaplama türlerine göre yapım maliyetine ilişkin grafik verilmiştir. Buna göre ilk yapım maliyeti en yüksek yol türü beton yol, en düşük yapım maliyetine sahip yol ise sathi kaplamadır.

**Şekil 5. Yol kaplama türlerine göre yapım maliyeti**

Şekil 6’da verilen grafikte yolların ortalama ömürleri karşılaştırılmış olup, bu karşılaştırmaya göre beton yolun ortama ömrü yaklaşık 25 yıl iken asfalt kaplama yolun ekonomik ömrü 10 yıl, sathi kaplamanın ömrü ise 5 yıl olarak görülmektedir.

**Şekil 6. Yol kaplama türlerine göre ortalama ömür**

Bakım maliyetleri açısından yollar kıyaslandığında asfalt yolun ortalama bakım maliyetinin 9,0 TL/m²/yıl, sathi kaplamanın bakım maliyetinin 8,5 TL/m²/yıl ve beton yolun ortalama bakım maliyetinin 4,5 TL/m²/yıl olduğu görülmektedir.



Şekil 7. Yol kaplama türüne göre bakım maliyeti

5. SONUÇ

Yol tipine göre ilk yapım maliyeti, ekonomik ömrü ve bakım maliyetinin karşılaştırılması hedeflenen bu çalışmada esnek kaplamaya sahip asfalt ve sathi yollar ile rijit kaplamaya sahip beton yolların yapım aşamaları açıklanarak ve bunların yapım maliyetleri kıyaslanmıştır. Devamında bu yolların ekonomik ömürleri, bu yollarda kullanımla birlikte zamanla oluşabilecek hasar türleri ve hasar türlerinin bakım/onarım maliyetleri karşılaştırılarak aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Yapım maliyeti en yüksek yol türü beton yol, en düşük yapım maliyetine sahip yol tipinin ise sathi kaplama olduğu sonucuna ulaşılmıştır.
- Yolların ortalama ömürlerine bakıldığında beton yolun ortama ömrünün yaklaşık 25 yıl, asfalt kaplama yolun ekonomik ömrünün 10 yıl, sathi kaplamanın ömrünün ise 5 yıl olduğu belirlenmiştir.
- Bakım maliyetlerine göre en fazla bakım maliyetine sahip yolun asfalt kaplama olduğu, sathi kaplamanın bakım maliyetinin asfalt kaplamaya göre çok az daha düşük olduğu, beton yolun bakım maliyetinin ise asfalt ve sathi kaplama yolun yaklaşık yarısı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

KAYNAKLAR

- Bağdatlı, M.E.C, Yıldırım M.Ş. “Karayolu Üstyapılarındaki Bozulmaların Bakım Maliyetlerine Etkisi Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi Cilt 6(1) 102-111, 2017.
- Edis, E, Asfalt ve Beton Kaplamalı Yolların Maliyet Yönünden Karşılaştırılması (2007) Antalya Karayolları Beton Yol Üst Yapılar Projelendirme Rehberi, T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM, 2019), Araştırma ve Geliştirme Dairesi Başkanlığı Üstyapı Geliştirme Şubesi Müdürlüğü Ankara, 2019.
- Sathi Kaplama Dizayn Rehberi, T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM, 2020), Araştırma ve Geliştirme Dairesi Başkanlığı Üstyapı Geliştirme Şubesi Müdürlüğü Ankara, 2020
- Bitümlü Karışımlar Laboratuvar El Kitabı, T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM, 2021), Araştırma ve Geliştirme Dairesi Başkanlığı Üstyapı Geliştirme Şubesi Müdürlüğü Ankara, 2021

Yılmaz, M, Ahmedzada, P, Saf ve SBS Modifiyeli Bitümlü Bağlayıcıların Kısa Dönem Yaşlanmadan Sonraki Özelliklerinin İki Farklı Yaşlandırma Yöntemi Kullanılarak İncelenmesi, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ. Cilt 23, No 3, 569-575, 2008.

ANKARA-İZMİR HIZLI TREN GÜZERGAHINDA DERİN ZEMİN KARIŞTIRMA (DSM) YÖNTEMİNİN ZEMİN TAŞIMA KAPASİTESİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

İnşaat Mühendisi Ahmet TUNÇSOY

Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü
ahmet.tuncsoy@uab.gov.tr, ORCID: 0009-0001-7731-4230

Dr. Öğr. Üyesi Serkan ENGİN

Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü
serkan.engin@kocaeli.edu.tr, ORCID: 0000-0001-9214-237X

Özet

Dünyada birçok ülkede yaygın olarak kullanılan Derin Zemin Karıştırma (DSM) yöntemi, ileri düzey bir zemin iyileştirme tekniği olarak son yıllarda ülkemizde de uygulanmaya başlanmış ve Türk Standartları'na dahil edilmiştir. Zemin iyileştirme; zeminin mühendislik özelliklerinin çeşitli yöntemlerle iyileştirilerek istenilen performans düzeyine getirilmesini amaçlamaktadır. DSM yöntemi ise, çimento ve/veya diğer bağlayıcı malzemeler ile zeminin yerinde karıştırılarak iyileştirilmesini esas almaktadır. Bu çalışmada Ankara-İzmir Yüksek Hızlı Tren Hattı Yapımı İşi kapsamında, KM: 20+580 – 22+700 arasında yer alan güzergâh dolgularının geoteknik değerlendirmeleri yapılmıştır. İlgili kesim için hazırlanan jeolojik model, yapılan saha ve laboratuvar çalışmaları ile arazi gözlemleri neticesinde güzergâh homojen bölgelere ayrılmıştır. Her bir bölgeyi temsilen kritik kesitler seçilmiş, seçilen bu kesitlerde DSM uygulaması öncesinde ve sonrasında deneylerden elde edilen zemin özellikleri karşılaştırılmıştır. Çalışmada elde edilen veriler çerçevesinde DSM yönteminin hızlı tren hattı güzergâhında yer alan zeminlerin tasarıma esas özelliklerinin iyileştirilmesinde oldukça etkili olduğu gözlemlenmiştir. Çalışmada, DSM yöntemine dair genel bir perspektif sunulmakta, örnek bir güzergâh üzerindeki uygulamalar aracılığıyla elde edilen bulgular paylaşılmakta ve bu yöntemin farklı projelerde daha etkin kullanımına yönelik katkı sunması amaçlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Zemin İyileştirme, Derin Zemin Karıştırma (DSM), Zemin Sıvılaşması, Zemin Stabilitesi

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF DEEP SOIL MIXING (DSM) METHOD ON SOIL BEARING CAPACITY OF ANKARA-İZMİR HIGH SPEED TRAIN ROUTE

Abstract

The Deep Soil Mixing (DSM) method, which is widely used in many countries in the world, has recently been implemented in our country as an advanced soil improvement technique and has been included in Turkish Standards. Soil improvement aims to improve the engineering properties of the soil by various methods and bring it to the desired performance level. The DSM method is based on the improvement of the soil by mixing it in situ with cement and/or other binding materials. In this study, geotechnical evaluations of the route fills located between KM: 20+580 - 22+700 were made within the scope of the Ankara-İzmir High Speed Train Line Construction Work. The geological model prepared for the relevant section, the field and laboratory studies and field observations were used to divide the route into homogeneous regions. Critical sections were selected to represent each region, and the soil properties obtained from the experiments before and after the DSM application were compared in these selected sections. Within the framework of the data obtained in the study, it was observed that the DSM method was quite effective in improving the design-based properties of the soils located on the high speed train line route. In the study, a general perspective on the DSM method is presented, the findings obtained through applications on a sample route are shared, and it is aimed to contribute to the more effective use of this method in different projects.

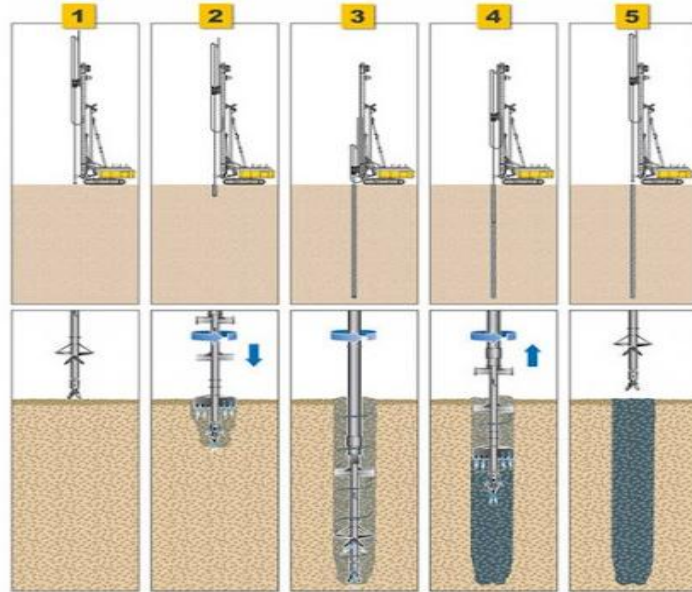
Keywords: Soil Improvement, Deep Soil Mixing (DSM), Soil Liquefaction, Soil Stability

1. GİRİŞ

Zemin İyileştirme; zemin özelliklerinin üstyapı inşası için uygun olmadığı durumlarda, çeşitli yöntemler belirlenerek, tasarlanan onaylı raporlar ve projeler doğrultusunda zeminin ıslah edilmesi olarak adlandırılmaktadır (Das, 1984). Derin zemin karıştırma yöntemi (DSM), çimento ve/veya diğer malzemeler ile zeminin yerinde karıştırılmasına dayanan zemin iyileştirme yöntemidir (USFHA, 2000). İlk olarak Japonya ve İsveç'te kullanılmaya başlanan bu yöntem, 1960'lardan beri dünya genelinde kullanılmaktadır. DSM yöntemi, zeminin kayma mukavemetlerinin yükseltilmesi, taşıma gücünün artırılması, oturma miktarlarının ve sıvılaşma potansiyelinin minimize edilmesi ve şev stabilizasyonlarının sağlanması vb. durumlarında başvurulmuş ileri zemin iyileştirme metotlarının başında gelmektedir (Tuncan, 2007).

2. DSM YÖNTEMİNİN UYGULANMASI

DSM yönteminin uygulamasında kazık makinasının karıştırıcı shaftı, zemini parçalayarak ve karıştırarak istenilen derinliğe kadar indirilmektedir. İstenilen derinliğe inme ve bu derinliğe ulaştıktan sonra geri çekme evrelerinde zemine çimento şerbeti veya kireçli bağlayıcılar verilerek zeminde kolonlar oluşturulmakta ve zeminin yerinde iyileştirilmesi sağlanmaktadır (Onur, 2016). DSM tekniği geniş alanlar için kullanılan bir zemin iyileştirme yöntemidir. DSM yönteminin uygulama şeklinin belirlenmesi, projenin limitleri, karakteristiği ve geometrisine bağlıdır. Sıvılaşmaya karşı uygulanan DSM yöntemi sıvılaşmanın engellenmesi, zeminin güçlendirilmesi ve boşluk suyu basıncının azaltılması amaçları için uygulanmaktadır. Ayrıca bu yöntem ekonomik nedenler ve derinlik düşünüldüğünde sıkça uygulamaların yapıldığı ve birçok projede tercih sebebi olmaktadır. DSM yöntemi uygulaması adımları Şekil 1'deki örnekte gösterilmiştir.



Şekil 1. DSM Yöntemi Uygulaması (arkzeminanaliz.com)

2.1. DSM Yöntemi Çeşitleri

2.1.1. Jetli Kuru Karıştırma (DJM) Yöntemi

Bu sistem bir derin karıştırma makinesi ve binder (bağlayıcı) tesisinden oluşmaktadır. Binder tesisi jeneratör, hava kompresörü, hava tankı, binder ve beslenme ünitesi ile kontrol odasının tamamından oluşmaktadır. Operasyon aşamaları delginin ve bıçakla karıştırmanın uygulama derinliğine ulaştıktan sonra yukarı istikamette çekilmesi aşamasında enjekte edilmektedir (FHWA, 2013).

2.1.2. Standart Islak Zemin Karıştırma (WRS) Yöntemi

Bu sistem de DJM metoduna benzer şekilde uygulanmakta, bir derin karıştırma makinesi ve binder tesisinden oluşmaktadır. Derin karıştırma makinesi ise paletli ana taşıyıcı vinç ve karıştırma shaftlarından oluşmaktadır. Bazen karıştırmanın daha etkin olabilmesi için shaftlar birbirine kıyasla ters istikamette

döndürülmekte, ters yönde uygulanarak karıştırılması operasyonun verimi artırılmaktadır (Kitazume ve Terashi, 2013).

2.1.3. CSM Metodu

Bu yöntem bir WRE (ıslak – rotari- uçtan beslenmeli) sistem olup, diyafram duvar teknolojisindeki frezeler (teker şeklindeki kesici bıçaklar) kullanılmaktadır. Bu sistem genellikle duvar şeklindeki imalatlarda tercih edilmektedir (FHWA, 2013). Sert zeminlerde bıçakların üzerine 50 MPa mukavemetli dişler monte edildiği zaman kaya birimlerini geçmek mümkün olabilmektedir.

2.1.4. WVP Metodu

Bu metod ıslak düşey panel sistemini temsil etmektedir. Uygulama derinliğine inildikten sonra, kesici testere yatay yönde hareket ettirilerek eş zamanlı olarak enjeksiyon ve karıştırma işlemlerine devam edilmesi sonucunda mümkün olabilmektedir.

2.2. DSM Yönteminin Avantaj ve Sınırlamaları

DSM uygulamalarının diğer zemin iyileştirme yöntemleri ile kıyaslandığında başlıca avantajları ve sınırlamaları Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. DSM Yönteminin Avantajları ve Sınırlamaları

Derin Karıştırma Yöntemi Avantajları	Derin Karıştırma Yöntemi Sınırlamaları
Hızlı üretim olanağı ve büyük projelerde ekonomik olması	Kara uygulamalarında derinlik sınırlaması
Tüm yumuşak zemin koşullarında uygulanabilir olması	Çok sert, sıkı ve bloklu zeminlerde uygulanmaması
Farklı kolon mesafe ve tasarımlarının olduğu projelere kolayca uyarlanabilmesi	Bazı zemin koşullarında kolonların standart ve kalitesinde değişiklikler oluşabilmesi
Kolon malzemesinin kolaylıkla tasarlanıp kontrol edilebilmesi	Çevre yapılarının sınırlarına ulaşmakta zorluklar olabilmemesi
İmalat sırasında minimum düzeyde yanıl ve düşey basınçlar olduğundan yakın yapılar üzerinde herhangi bir hasar oluşmaması	Donma/çözülme nedeniyle mekanik özelliklerde kayıplar oluşması
Titreşim ve gürültü riskinin minimum düzeyde olması	Islak metotta büyük hacimlerde taşma olasılığı ve zayıf zemin koşulları sebebiyle hareket zorlukları
Karada, kıyı liman yapılarında ve açık denizde kolay uygulama imkânı	Derinlerde sınırlı kalınlıkta izole olmuş zayıf bir zemin tabakasını iyileştirmenin mümkün olmaması

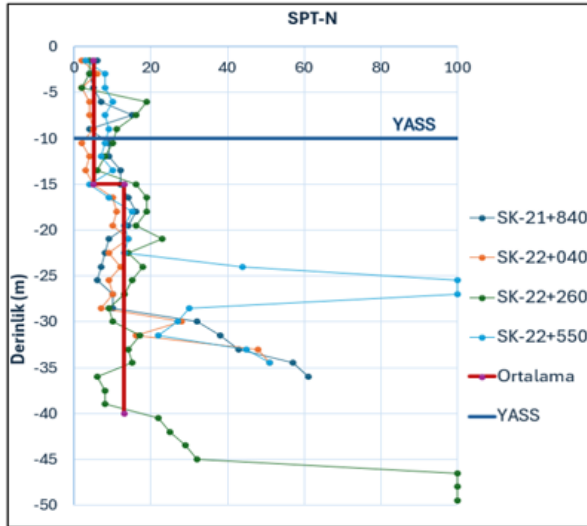
3. İNCELEME ALANI, DSM UYGULAMASI VE BULGULAR

Bu çalışmada Ankara-İzmir Yüksek Hızlı Tren Hattı Yapımı İşi kapsamında Şekil 2’de gösterilen ‘Polatlı- Afyonkarahisar (POLAF) kesiminde yer alan, (KM: 20+580 – 22+700) arası yaklaşık 2.120 m uzunluğunda güzergâh dolgularının geoteknik değerlendirmeleri yapılmıştır.



Şekil 2. Ankara-İzmir tren hattı güzergahı ve bu güzergah üzerindeki inceleme alanı

İnceleme alanı için hazırlanan jeolojik model, yapılan saha ve laboratuvar çalışmaları ile arazi gözlemleri neticesinde güzergâh üzerinde 8 adet sondaj araştırma kuyusu açılmış özellikle dolgu tabanı altında sıvılaşma riski barındıran 4 ana kesitte incelemeler yapılmıştır. İlgili bölge zemin araştırma çalışmalarına ait SPT-derinlik değişimi, zemin profili ve örnek karot sandığı görünümü Şekil 3'te yer almaktadır. Buna göre zeminin ilk 10 metresinde SPT-N değerinin ortalama 4 ile 15 arasında değiştiği görülmektedir. Bu SPT-N değerine göre inceleme alanındaki zemin sınıfının TBDY-2018'de verilen yerel zemin sınıfları tablosuna göre ZE olduğu anlaşılmaktadır.



(a)

Zemin Profili



(b)

Şekil 3. İyileştirme öncesi zemine ilişkin SPT değerleri ve zemin profili

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi	Üst 30 metrede ortalama		
		$(V_s)_{30}$ [m/s]	$(N_{60})_{30}$ [darbe /30 cm]	$(c_u)_{30}$ [kPa]
ZA	Sağlam, sert kayalar	> 1500	–	–
ZB	Az ayrılmış, orta sağlam kayalar	760 – 1500	–	–
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış, çok çatlaklı zayıf kayalar	360 – 760	> 50	> 250
ZD	Orta sıkı – sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları	180 – 360	15 – 50	70 – 250
ZE	Gevşek kum, çakıl veya yumuşak – katı kil tabakaları veya $PI > 20$ ve $w > \% 40$ koşullarını sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası ($c_u < 25$ kPa) içeren profiller	< 180	< 15	< 70
ZF	Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler: 1) Deprem etkisi altında çökme ve potansiyel göçme riskine sahip zeminler (sıvılaşabilir zeminler, yüksek derecede hassas killeri, göçebilir zayıf çimentolu zeminler vb.), 2) Toplam kalınlığı 3 metreden fazla turba ve/veya organik içeriği yüksek killeri, 3) Toplam kalınlığı 8 metreden fazla olan yüksek plastisiteli ($PI > 50$) killeri, 4) Çok kalın (> 35 m) yumuşak veya orta katı killeri.			

Yapılan bu çalışmada Ankara-İzmir Yüksek Hızlı Tren Hattı Yapımı İş kapsamında, KM: 20+580 – 22+700 arasında yer alan güzergâh dolgularında Standart Islak Zemin Karıştırma (WRS) Yöntemi uygulanmış olup geoteknik değerlendirmeleri yapılmıştır. İlgili kesim için hazırlanan jeolojik model, yapılan saha ve laboratuvar çalışmaları ile arazi gözlemleri neticesinde güzergâh homojen bölgelere ayrılmış, her bir bölgeyi temsilen kritik kesitler seçilmiş, seçilen bu kesitlerde DSM uygulaması öncesinde ve sonrasında deneylerden elde edilen zemin özellikleri karşılaştırılmıştır. Çalışmada elde edilen veriler çerçevesinde DSM yönteminin hızlı tren hattı güzergâhında yer alan zeminlerin tasarıma esas özelliklerinin iyileştirilmesinde oldukça etkili olduğu gözlemlenmiştir. İnceleme alanının yapılan DSM uygulamasına ilişkin görüntüler Şekil 4'te, inceleme alanının genel görünümü Şekil 5'te verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 4. İnceleme alanında yapılan DSM uygulaması (a) Makine karıştırma ucu ve karıştırma işlemi; (b) Makine genel görünümü



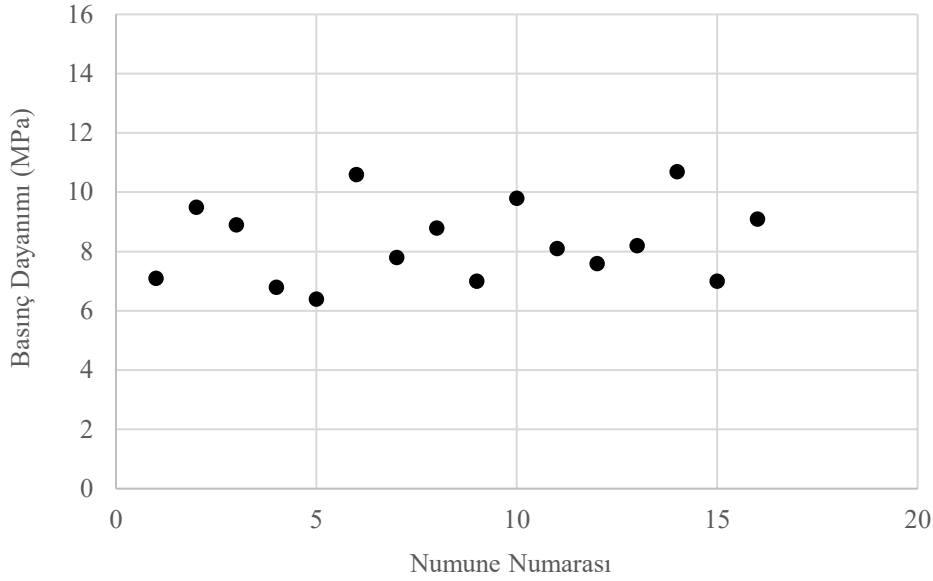
Şekil 5. DSM uygulaması yapılmış inceleme alanı genel görünümü

DSM imalatı sonrasında kalite kontrol deneyleri kapsamında süreklilik deneyleri ve eksenel basınç mukavemeti deneyleri gerçekleştirilmiştir. Buna göre DSM ile elde edilen kolanlardan alınan karotların görünümü Şekil 6’da verilmiştir. Burada verilen numuneler üzerinde yapılan basınç testleri sonucunda elde edilen basınç değerleri Şekil 7’de verilmiştir.



Şekil 6. DSM uygulaması sonrası oluşan kolonlardan alınan zemin numuneleri

Şekil 7’de verilen karot basınç deneyi sonuçlarına göre numunelerin basınç dayanımının 6.40 MPa ile 10.7 MPa arasında değiştiği, 16 numunenin ortalama basınç dayanımının ise 8.34 MPa olduğu anlaşılmaktadır. Buna göre DSM ile yapılan zemin iyileştirme ile zemin dayanımının iyileştirme öncesine göre önemli artış gösterdiği görülmektedir.



Şekil 7. DSM uygulaması sonucu oluşan kolonlardan alınan numunelerin basınç dayanımları

4. SONUÇLAR

Ankara-İzmir Yüksek Hızlı Tren Hattı Yapımı İşi kapsamında, KM: 20+580 – 22+700 arasında yer alan güzergâh üzerinde seçilen inceleme alanında yapılan derin zemin karıştırma (DSM) yöntemi ile zemin iyileştirme uygulamalarının sonuçları bu çalışmada sunulmuş ve belirtilen bölgedeki dolgularının geoteknik değerlendirmeleri yapılmıştır. İlgili kesim için hazırlanan jeolojik model, yapılan saha ve laboratuvar çalışmaları ile arazi gözlemleri neticesinde güzergâh homojen bölgelere ayrılmıştır. Her bir bölgeyi temsilen kritik kesitler seçilmiş, seçilen bu kesitlerde DSM uygulaması öncesinde ve sonrasında deneylerden elde edilen zemin özellikleri karşılaştırılmıştır. Buna göre çalışmadan aşağıdaki elde edilen sonuçlar elde edilmiştir.

- İnceleme alanında seçilen zemin özelliklerinin tespiti için sondaj çalışmalarına göre zeminin ilk 10 metresindeki SPT-N değerinin ortalama 4 ile 15 arasında değiştiği görülmüştür.
- Elde edilen SPT-N değerine göre inceleme alanındaki zemin sınıfının TBDY-2018’de verilen yerel zemin sınıfları tablosuna göre zemin sınıfının ZE, zemin cinsinin gevşek kum, çakıl veya yumuşak-katı kil olduğu anlaşılmaktadır.
- DSM yöntemi ile zeminde elde edilen kolonlardan elde edilen karotların basınç deneyi sonuçlarına göre numunelerin basınç dayanımının 6.40 MPa ile 10.7 MPa arasında değiştiği, 16 numunenin ortalama basınç dayanımının ise 8.34 MPa olduğu anlaşılmaktadır. Buna göre DSM ile yapılan zemin iyileştirme ile zemin dayanımının iyileştirme öncesine göre önemli artış gösterdiği görülmektedir.
- Elde edilen sonuçlar bir arada değerlendirildiğinde DSM yönteminin hızlı tren hattı güzergâhında yer alan zeminlerin tasarıma esas özelliklerinin iyileştirilmesinde oldukça etkili olduğu ve zeminin sıvılaşma gibi olumsuzluklarını en düşük seviyeye getirdiği gözlemlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Das, B.M., 1984. Principles Of Foundation Engineering, Brooks Cole Engineering Division, A.B.D.
 FHWA, 2013, Deep Mixing for Embankments and Foundation Support, No: FHWA- HRT-13-046.
<http://arkzeminanaliz.com/hizmetlerimiz/deep-soil-mixing-derin-karistirma/>
 Onur M.İ., Tuncan M., Kılıç H.O, Tuncan A., 2016, Yeni Bir Derin Zemin Karıştırma Sistemi Tasarımı ve Arazi Uygulamaları, Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi
 Journal of Science and Technology 2016, 9(3), 194-205

Kitazume M., Terashi, M., 2013, The Deep Mixing Method, CRC Press, Taylor & Francis Group, London.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2018, Ankara.

Tuncan, A. 2007. Yapı Denetimi Alanında Hizmet Veren Yapı Denetçileri Ve Yardımcı Kontrol Mühendisleri İçin Hazırlanan Meslek İçi Eğitim Programı Kurs Notları. İnşaat Mühendisleri Odası, Eskişehir

AMFİFİLİK KOPOLİMERLERİN İLAÇ SALIM ETKİNLİĞİNİN İNCELENMESİ

Arş. Gör. Ayşegül ÖZBAL

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi / Fen Fakültesi, Kimya Bölümü
aysegul.ozbal@ogu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-6218-8227

Prof. Dr. Vural BÜTÜN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi / Fen Fakültesi, Kimya Bölümü
vbutun@ogu.edu.tr, ORCID: 0000-0003-4542-5080

Özet

Geliştirilen yeni ilaçların biyoyararlanımını arttırmak ve toksik etkilerini azaltmak amacıyla yeteri kadar ilacı yükleyebilecek, bu ilacı kontrollü olarak hedef bölgeye taşıyabilecek ve kontrollü olarak salabilecek materyallerin geliştirilmesi oldukça önemlidir. Bu çalışma kapsamında, asidik ortamda duble hidrofilik, nötr ve bazik ortamda hidrofilik-hidrofobik nitelikte bir diblok kopolimer sentezlenmiştir. Hazırlanan polimerin amfifilik doğası yardımıyla misel çözeltisi hazırlanmış ve hazırlanan misellerin stabilitesini arttırmak amacıyla koronası çapraz bağlanarak çapraz bağlı misel (ÇBM) çözeltileri hazırlanmıştır. Hem öncü misellerin hem de ÇBM'lerin ilaç salım profilleri, model ilaç olarak kardiyovasküler hastalıklarda sıklıkla kullanılan dipiridamol (DIP) ilacı seçilerek, *in-vitro* olarak pH 7,4 fosfat tampon çözeltisinde belirlenmiştir. 93 saat sonunda misellerde %53,8 oranında DIP salımı görülürken, ÇBM'lerden ise %14,7 oranında DIP salımı (daha yavaş salım) elde edilmiştir. Misel ve ÇBM sistemlerinin avantaj ve dezavantajları tartışılarak taşıyıcı ve salım sistemleri olarak önemli potansiyellere sahip oldukları ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Misel, çapraz bağlı misel, ilaç salımı

INVESTIGATION OF DRUG RELEASE EFFECTIVENESS OF AMPHIPHILIC COPOLYMERS

Abstract

In order to increase the bioavailability of newly developed drugs and reduce their toxic effects, it is very important to develop materials that can load enough drug, to ensure the controlled delivery of this drug to the target region and release it in a sustained release profile. In this study, a diblock copolymer that is double hydrophilic in acidic medium and hydrophilic-hydrophobic in neutral and basic medium was synthesized. Micelle solution was prepared with the help of the amphiphilic nature of the prepared polymer and cross-linked micelle solutions were prepared by cross-linking the corona in order to increase the stability of the prepared micelles. Drug release profiles of both precursor micelles and cross-linked micelles were determined in vitro in pH 7.4 phosphate buffer solution by selecting dipiridamole (DIP), a drug frequently used in cardiovascular diseases, as a model drug. While 53.8% DIP release was observed in micelles, 14.7% DIP release (slower release) was obtained from cross-linked micelles at the end of 93 hours. The advantages and disadvantages of micelle and cross-linked micelle systems were discussed and it was revealed that they have significant potential as carrier and delivery systems.

Keywords: Micelle, cross-linked micelle, drug delivery

1. GİRİŞ

Kardiyovasküler hastalıkların büyük bir çoğunluğu ölümle sonuçlanmakta ya da felç gibi riskleri ortaya çıkarmaktadır. Kardiyovasküler hastalıkların tedavisinde sıklıkla tercih edilen dipiridamol (DIP) antiproliferatif ve antitrombotik farmasötik bir ajan görevi görür (Repanas ve Glasmacher, 2015). Ayrıca, DIP hem *in-vitro* hem de *in-vivo* olarak M1 fenotipinin etkili polarizasyonunu indüklemek için CCR2 antagonisti olarak davranır. Bu durum kanser, enfeksiyon veya bağışıklık sistemi hastalıkları gibi durumlarda bağışıklık sisteminin yönlendirilmesi açısından önemlidir. Bununla birlikte, oto floresans görevi görmesi ile görüntülemeye avantaj sağlayan bir ilaçtır (Xiao ve ark., 2024). Günümüzde geliştirilen yeni ilaçların %70'inden fazlasının suda zayıf çözünürlüğe sahip olduğu raporlanmıştır. Bu durum ilacın yeterli iyileştirici etkilerinin alınabilmesi için gerekli olan dozun alınamaması gibi

dezavantajlar ortaya çıkmaktadır (Nakamura ve ark., 2025). Bu dezavantajların üstesinden gelebilmek için polimerik (Zhang ve ark., 2024), miselik (Manna ve ark., 2024; Signorini ve ark., 2024), lipozomal (Björgvinsdóttir ve ark., 2025) gibi çeşitli ilaç salım sistemleri geliştirilmektedir. Kopolimerlerin kendi kendine düzenlenmesi ile hazırlanan polimer temelli miseller ilaç taşıyıcı sistemler için büyük avantajlar sağlamaktadır. Miseller hazırlanırken klasik miseller yerine akıllı, çevre duyarlı polimerik yapıların kullanılması, sağlıklı ve hastalıklı dokuların ayırt edilmesinin sağlanması ile daha etkili salım sistemlerinin geliştirilmesine olanak sağlamaktadır (Manna ve ark., 2024).

Miselik yapıların hazırlanması için sıklıkla hidrofilik ve hidrofobik segmentleri yapısına bulunduran amfifilik polimerler tercih edilir. Bu polimerlerin hidrofilik çözücüler ile etkileşime girmesiyle çekirdekte hidrofobik segmentin, kabukta hidrofilik segmentin bulunduğu miselik yapılar oluşur (Krishnan ve ark., 2022). Bu amfifilik yapıda bulunan hidrofobik segment ile suda çözünürlüğü az olan ilaçların kapsülasyon ve salım etkinlikleri iyileştirilmekle birlikte hidrofilik segment ile de vücut içerisinde dolaşımı sağlanabilmektedir (Choi ve ark., 2022). Bu sayede, polimerik miseller ile biyoyararlanım ve farmokokinetik etkinlikleri geliştirilebilmekte, toksisite düşürülebilmektedir. Ancak sağlanan avantajların yanında bu sistemlerin klinik uygulamalarda vücut içerisinde erken dağılması sebebiyle ilaç salımının ilgili bölgeye ulaşmadan başlaması, toksik etkilere sebep olabilmektedir (Feng ve ark., 2023). Bu dezavantajın üstesinden gelebilmek için çekirdeğin ya da kabuğun çapraz bağlanmasıyla hazırlanan çapraz bağlı miseller, misel stabilitesini artırarak daha uzun süre dolaşımda kalmasını sağlar böylece salım sistemlerinin etkinliğini artırır (Bai ve ark., 2022; Li ve ark., 2023). Miselik yapıların yetersiz ilaç yükleme kapasitesi, düşük stabilitesi, hızlı salım profili gibi dezavantajları içermesi, salım sistemlerinde yaygın olarak kullanılan lipozomal sistemlerin depolama sorunu, hızlı salım, stabilite gibi sorunları sebebiyle son yıllarda polimer-lipozom, misel-lipozom gibi hibrit sistemlere yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Bu hibrit yapılar sayesinde stabilitesinin artırılmasıyla daha uzun süre salım yapabilen, farklı doku ya da hücrelere hedeflenebilen sistemler geliştirilmektedir (Romana ve ark., 2020).

2. MATERYAL VE METOD

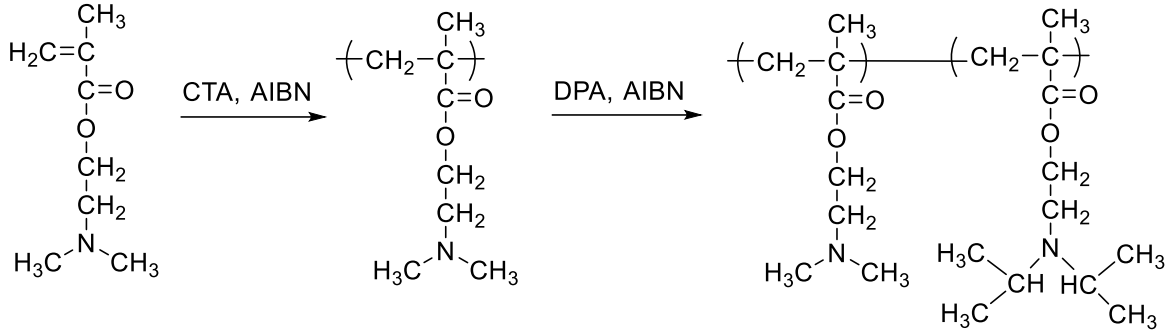
2.1. Materyal

2-(Dimetilamino)etil metakrilat (DMA, %98), 2-(diizopropilamino)etil metakrilat (DPA, %97), 2-siyano-2-propil benzoditiyoat (CTA, %97), 1,2-dipalmitol-*sn*-glisero-3-fosfokolin (DPPC, %99), kolesterol (%99) Sigma Aldrich, 2,2'-azobis(2-methylpropionitrile) (AIBN, %98) Acros Organics, tetrahidrofuran (THF, %99,8) Carlo Erba, 1,2-bis-(2-iyodoetoksi)-etan (BIEE, %96), Aldrich Chem, 2,2',2'',2'''-((4,8-di(piperidin-1-il)primido[5,4-d]primidin-2,6-diil)bis(azanetril))tetrakis(etan-1-ol) (DIP, %98) BLDpharm firmasından temin edilmiştir.

2.2. Metod

2.2.1. PDMA-*b*-PDPA diblok polimeri sentezi

Şekil 1'de de gösterildiği gibi polimer sentezi için RAFT polimerizasyonu kullanılmıştır. İlk olarak DMA monomeri, 5:1 oranında RAFT ajanı CTA ve AIBN başlatıcısı inert ortamda THF içerisinde çözülmesiyle 70 °C'de polimerleşme sağlanmıştır. İkinci basamakta ise hazırlanmış bu polimer makro-RAFT ajanı olarak kullanılmıştır. 5:1 oranında ajan:başlatıcı olacak şekilde THF içerisinde ortama AIBN ve ikinci blok olan DPA monomeri ilavesiyle diblok polimerin sentezlenmesi sağlanmıştır. Sentezlenen polimerin GPC ve NMR spektroskopisi ile karakterizasyonu yapılmıştır.



Şekil 1. PDMA-*b*-PDPA polimeri sentezi

2.2.2. PDMA-*b*-PDPA misel ve ÇBM çözeltisinin hazırlanması

25 °C sıcaklıkta, 10 mL saf su içerisinde PDMA-*b*-PDPA polimerinin %1 derişimde çözeltisi hazırlanmıştır. Polimerin çözünmesi için HCl çözeltisi ile pH 3'e ayarlanmıştır. Daha sonra miselik yapıların oluşması için ortama 0,5 M ve 0,1 M KOH çözeltileri ilavesiyle pH 7,5 olarak ayarlanmıştır. Hazırlanan misel çözeltisinin boyut ölçümleri yapılmıştır. Çapraz bağlı misellerin hazırlanması için bu adımdan sonra ortama çapraz bağlayıcı (BIEE) eklenip, gece boyunca karıştırılarak kabukta yer alan PDMA bloğunun çapraz bağlanması sağlanmıştır.

2.2.3. Misellerin ve ÇBM'lerin ilaç salım profillerinin incelenmesi

Deneylerde model ilaç olarak dipiridamol (DIP) salım profili incelenmiştir. Salım profilleri için *in-vitro* deneyler, pH 7,4 fosfat tampon çözeltisinde (PBS) üç tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Sentezlenen polimerler asidik pH'da moleküler olarak çözülmüş, sonra ortama asidik DIP çözeltisi (moleküler çözülmüş) eklenmiştir. Daha sonra ortama baz ilavesiyle ortam pH 7,4'e ayarlanarak misellerin oluşturulması sağlanmıştır. pH artışı ile hidrofobikleşen ve çözünürlüğü kaybeden DIP, polimerin hidrofobik segmentini oluşturan çekirdeğe yönelmesi ile çekirdek içerisinde kalması (çözünmesi) sağlanmıştır. İlaç yüklü misel çözeltisi ikiye bölünerek biri kontrol çözelti olarak ayrılmış, diğeri ise ÇBM hazırlamada kullanılmıştır. ÇBM'ler için bu aşamada ortama çapraz bağlayıcı BIEE ilavesi yapılmıştır. Gece boyunca çapraz bağlanma gerçekleşmesi için çözelti karıştırılmış, pH 7,4 PBS ortamında misellerin ve ÇBM'lerin salım profilleri incelenmiştir.

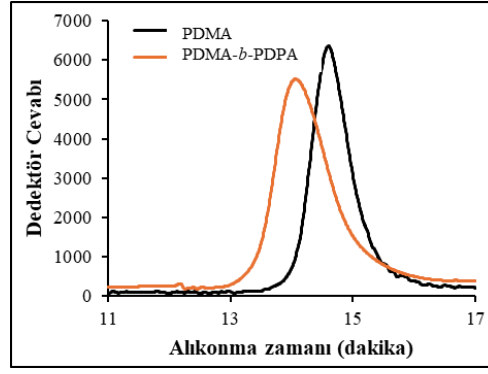
2.2.4. Lipozom sentezi

0,03 mmol 1,2-dipalmitol-*sn*-glisero-3-fosfokolin (DPPC) ve 0,01 mmol kolesterol tartılarak bir balona alınmış ve 3 mL kloroform içerisinde çözülmüştür. Ultrasonik banyoda çözüldükten sonra 65 °C sıcaklık ve 270 rpm dönme hızında evaporatörde çözücüsü uçurularak ince film oluşturulmuştur. Bir gece freeze-dryer ile kurutulmuştur. Daha sonra, 10 mL pH 7,4 PBS ile 65 °C ultrasonik banyoda hidrate edilmiştir. Ekstrüder ile on kez 200 nm filtreden geçirilmiştir. Hazırlanan lipozom çözeltisi ile misel çözeltileri farklı oranlarda karıştırılarak hibrit sistem denemeleri yapılmıştır.

3. SONUÇ

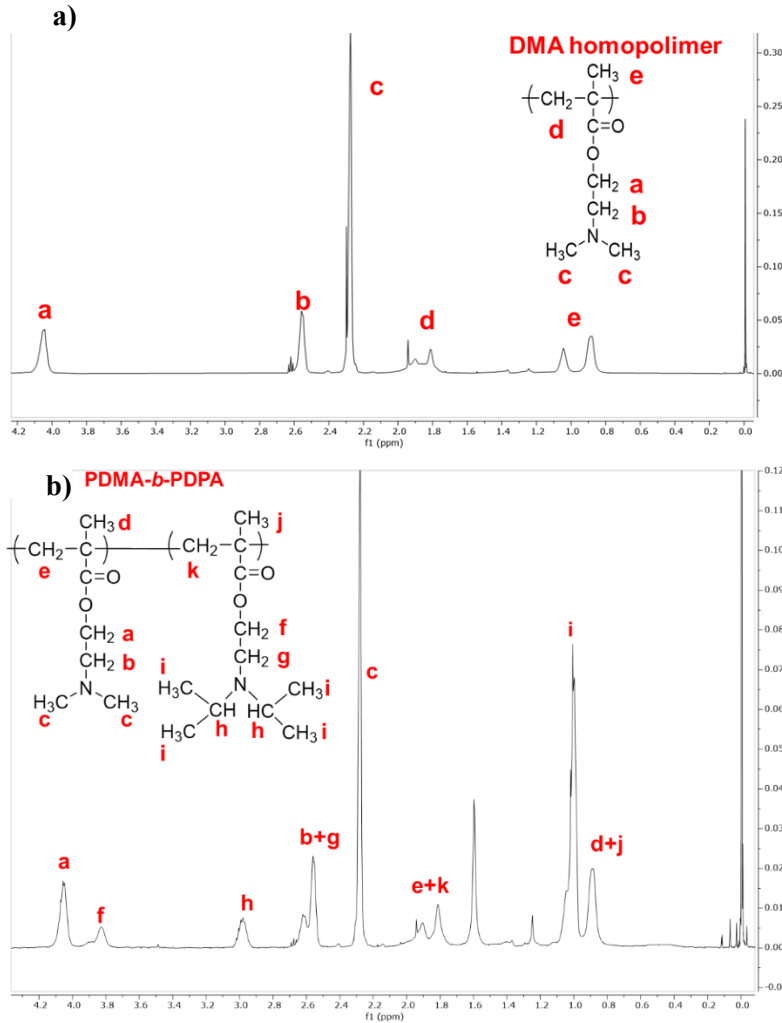
3.1. PDMA-*b*-PDPA Polimerinin Karakterizasyonu

Sentezlenen PDMA-*b*-PDPA polimerinin GPC ve NMR spektroskopisi teknikleriyle karakterizasyon çalışmaları yapılmıştır. Şekil 2'de görüldüğü gibi ilk blok PDMA homopolimerinin PDI değeri 1,16 ve sayıca ortalama mol ağırlığı (M_n) 12600 g/mol olarak GPC ile belirlenmiştir. Ayrıca, aynı grafikte turuncu eğri ile gösterilen PDMA-*b*-PDPA dibok kopolimerin kromatogramından PDI değeri 1,36 ve M_n değerinin 18050 g/mol olduğu belirlenmiştir.



Şekil 2. Sentezlenen PDMA ve PDMA-*b*-PDPA polimerlerinin GPC sonuçları.

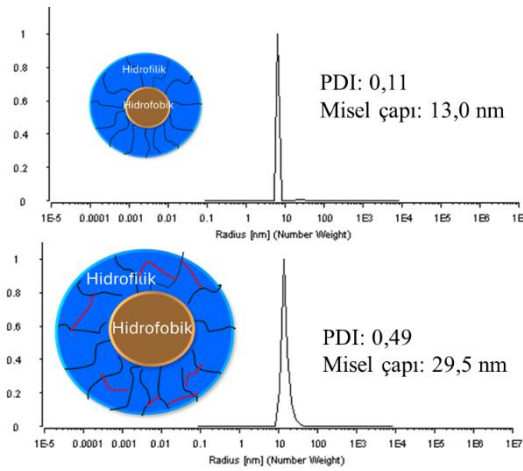
Ayrıca, GPC sonuçlarını desteklemek amacıyla Şekil 3’de gösterildiği üzere PDMA ve PDMA-*b*-PDPA polimerlerinin CDCl₃ çözücüsünde proton NMR spektrumları alınış ve spektrum analizi ile (her iki blokta yer alan spesifik proton integral alanları kıyaslanarak, örn: c ve h pikleri) blok kopolimer içeriğinin %69 DMA, %31 DPA olduğu belirlenmiştir (PDMA_{0,69}-*b*-PDPA_{0,31}).



Şekil 3. Sentezlenen polimerlerinin NMR spektrumları: a) PDMA ve b) PDMA_{0,69}-*b*-PDPA_{0,31}.

3.2. PDMA-*b*-PDPA Misel ve ÇBM Çözeltilerinin Karakterizasyonu

Yapılan çalışma kapsamında, bir bloğu hidrofilik özellik gösteren PDMA, diğer bloğu nötr ve bazik çözeltilerde hidrofobik özellik gösteren PDPA olan bir amfifilik diblok kopolimeri sentezlenmiştir. Sentezlenen polimer, asidik çözeltilerde duble hidrofilik ve nötr/bazik ortamlarda hidrofilik-hidrofobik olduğundan (PDPA hidrofobikleşir) pH artışı ile kendiliğinden düzenlenerek çekirdekte hidrofobik bloğun, kabukta ise hidrofilik bloğun konumlandığı kabuk-çekirdek miselik yapıların hazırlanması sağlanmıştır. Hazırlanan miselik yapılar ilaç taşınım sürecinde ve salım sürecinde hızla dağılarak kontrolsüz salıma sebep olabileceği için hazırlanan misel çözeltisinin kabuğunda yer alan PDMA bloğunun BIEE ile çapraz bağlanarak misel yapıların yapısal kararlılığı sağlanmıştır. Hazırlanan misellerin ve ÇBM'lerin pH 7,4 ve 25 °C'de DLS sonuçları Şekil 4'de gösterildiği gibi olup, sırasıyla, boyutları 13,0 nm ve 29,5 nm ve PDI değerleri 0,11 ve 0,49 olarak belirlenmiştir.

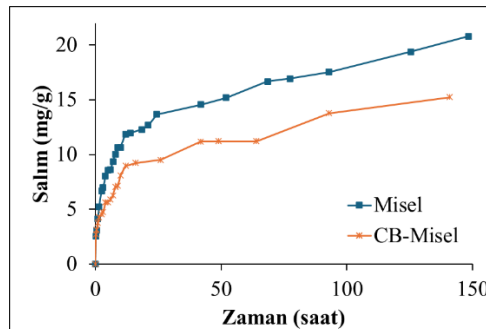


Şekil 4. PDMA-*b*-PDPA misel ve ÇB-misellerinin DLS sonuçları

Çapraz bağlama sonucunda çapta meydana gelen artış, çapraz bağlama ile PDMA bloğunun kuaternize olan amin bloğunun daha hidrofilik özellik kazanması sonucu zincir içi katyonik grupların birbirini itmesi ile zincir uzamalarına sebep olmasındandır.

3.3. PDMA-*b*-PDPA Misellerinin ve ÇBM'lerinin *in-vitro* DIP Salım Profilleri

PDMA-*b*-PDPA polimeri asidik pH'da çözüldükten sonra ortama DIP çözeltisi eklenmiş ve baz ilavesiyle misellerin oluşturulması sağlanmıştır. Böylece hidrofobik ilaç olan DIP, polimerin hidrofobik segmentini oluşturan çekirdek içerisinde kalmıştır. Misel çözeltilerinin çapraz bağlanması amacıyla ortama BIEE eklenmiştir. Salım profilleri pH 7,4 PBS ortamında incelenmiştir. Şekil 5'de görüldüğü üzere, PDMA-*b*-PDPA misellerinin 12 saatte 12 mg, ÇBM'lerden ise 9 mg DIP salımı yaptığı ve 93 saatte misellerden 17,53 mg/g (%53,84) salınmakta, ÇBM'lerden ise 13,78 mg/g (%14,68) DIP salınmaktadır. Şekilde de görüldüğü gibi çapraz bağlı misellerin daha yavaş salım gösterdiği anlaşılmaktadır.



Şekil 5. PDMA_{0,69}-*b*-PDPA_{0,31} misellerinden pH 7,4 PBS ortamında DIP salımı (T=25 °C)**3.4. Lipozomların Boyut Ölçümleri**

Literatürde yer alan ilaç salım çalışmaları incelendiğinde, misellerin çapraz bağlanması ile misel dezavantajları kısmen engellenebilir ve kontrollü salım profili iyileştirilebilirse de gastrointestinal sıvıda bu dezavantajların daha iyi önlenmesi amacıyla hibrit sistemler öne çıkmaktadır. Bu sebeple bu çalışma kapsamında misel-lipozom hibrit sistemler hazırlanmaya çalışılmaktadır. Ekstrüderden geçirilmiş lipozomların pH 7,4 fosfat tampon çözeltisinde 25 °C’de boyut analizleri yapıldığında 0,09 PDI değerine sahip 146,2 nm çapında lipozomların hazırlandığı bulunmuştur. Hazırlanan bu lipozom yapıların, misel, ÇB-misel yapıları ile birleştirilerek hibrit sistemlerin hazırlanmasına yönelik çalışmalarımız devam etmektedir.

4. TARTIŞMA

Bu çalışma kapsamında PDMA-*b*-PDPA diblok polimeri sentezlenmiş, GPC ve NMR spektroskopisi teknikleri kullanılarak karakterize edilmiştir. Sentezlenen bu amfifilik kopolimerin kendi kendine hidrofobik segmentin çekirdekte, hidrofilik segmentin kabukta düzenlenmesi misel çözeltileri hazırlanmış ve devamında dış kabuğun çapraz bağlanması ile ÇB-misel çözeltileri hazırlanmıştır. Hazırlanan çözeltilerin DLS ölçümleri incelendiğinde PDMA bloğu üzerinden çapraz bağlanmış olan misellerin boyutlarının, misel çözeltilerine göre daha yüksek boyutta olduğu görülmektedir. Çünkü, çapraz bağlanma ile PDMA bloğundaki tersiyer amin gruplarının kuaternize olmasıyla polimer daha hidrofilik özellik kazanır ve zincir uzamalarına sebep olur. Yapılan bu çapraz bağlama işlemi ile hazırlanan misellerinin daha uzun süre yapılarını korumaları sağlanmış ve ilaç salım sistemlerinde daha yavaş ve kontrollü bir salım profili sergilemesi sağlanmıştır. Ancak, mevcut hali ile her ne kadar misel yapı stabilizasyonu sağlanmış olsa da ilaç taşıma ve salım kapasitelerinin iyileştirilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, çalıştığımız miselik yapıların lipozom, mikrojel gibi sistemlere entegrasyonu üzerine çalışmalarımız (TÜBİTAK 2247A-Ulusal Lider Araştırmacı Programı kapsamında) devam etmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince FOA-2024-2854 Proje Kodu ile desteklenmektedir. Yazarlar finansal desteğinden dolayı ilgili kuruma ve birime teşekkürlerini sunar.

KAYNAKLAR

- Bai, J., Wang, J., Feng, Y., Yao, Y., ve Zhao, X. (2022), Stability-tunable core-crosslinked polymeric micelles based on an imidazole-bearing block polymer for pH-responsive drug delivery, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 639. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2022.128353>.
- Björgvinsdóttir, U. J., Larsen, J. B., Bak, M., Andresen, T. L., ve Münter, R. (2025), Targeting antibodies dissociate from drug delivery liposomes during blood circulation, *Journal of Controlled Release*, 379, 982–992. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2025.01.047>.
- Choi, Y. S., Cho, H., Choi, W. G., Lee, S. S., Huh, K. M., Shim, M. S., Park, I. S., Cho, Y. Y., Lee, J. Y., Lee, H. S., ve Kang, H. C. (2022), Beyond hydrophilic polymers in amphiphilic polymer-based self-assembled NanoCarriers: Small hydrophilic carboxylate-capped disulfide drug delivery system and its multifunctionality and multispatial targetability, *Biomaterials*, 280. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2021.121307>.
- Feng, Y., Bai, J., Du, X., ve Zhao, X. (2023), Shell-cross-linking of polymeric micelles by Zn coordination for Photo- and pH dual-sensitive drug delivery, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 666. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2023.131369>.
- Krishnan, A., Roy, S., ve Menon, S. (2022), Amphiphilic block copolymers: From synthesis including living polymerization methods to applications in drug delivery, *European Polymer Journal*, 172. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2022.111224>.
- Li, P., Liu, Q., Xiang, Z., Wang, J., Wu, W. X., ve Yi, W. J. (2023), ROS-responsive core crosslinked micelles by combination of enzymatic polymerization and thiol-ene click chemistry for

- anticancer drug delivery, *European Polymer Journal*, 199.
<https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2023.112473>.
- Manna, K., Dey, S., Phukan, A., Dey, S. K., ve Pal, S. (2024), Alginic acid-based pH and thermo responsive reversible switched polymeric micelle via RAFT polymerization, *Polymer*, 291.
<https://doi.org/10.1016/j.polymer.2023.126581>.
- Nakamura, J., Kakino, Y., Masada, T., Kataoka, M., Shuto, M., Yamashita, S., Hishikawa, Y., ve Minami, K. (2025), Potential use of oral jelly formulations as supersaturable formulations: Acidified or alkalized jelly containing drugs with pH-dependent solubility, *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 106. <https://doi.org/10.1016/j.jddst.2025.106691>.
- Repanas, A., ve Glasmacher, B. (2015), Dipyrindamole embedded in Polycaprolactone fibers prepared by coaxial electrospinning as a novel drug delivery system, *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 29, 132–142. <https://doi.org/10.1016/j.jddst.2015.07.001>.
- Romana, B., Hassan, M. M., Sonvico, F., Garrastazu Pereira, G., Mason, A. F., Thordarson, P., Bremmell, K. E., Barnes, T. J., ve Prestidge, C. A. (2020). A liposome-micelle-hybrid (LMH) oral delivery system for poorly water-soluble drugs: Enhancing solubilisation and intestinal transport, *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 154, 338–347.
<https://doi.org/10.1016/j.ejpb.2020.07.022>.
- Signorini, S., Delledonne, A., Pescina, S., Bianchera, A., Sissa, C., Vivero-Lopez, M., Alvarez-Lorenzo, C., Santi, P., Padula, C., ve Nicoli, S. (2024). A sterilizable platform based on crosslinked xanthan gum for controlled-release of polymeric micelles: Ocular application for the delivery of neuroprotective compounds to the posterior eye segment, *International Journal of Pharmaceutics*, 657. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2024.124141>.
- Xiao, B., Shi, X., Xu, X., Liu, J., Pan, Y., Xu, H., Sun, W., Slater, N. K. H., Patra, H. K., Gao, J., Shen, Y., ve Tang, J. (2024), In situ formed reactive oxygen species-responsive dipyrindamole prodrug hydrogel: Spatiotemporal drug delivery for chemoimmunotherapy, *Journal of Controlled Release*, 375, 454–466. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2024.08.043>.
- Zhang, X., Wang, P., Wang, X., Xu, Y., Cheng, T., Zhang, C., Ding, J., Shi, Y., Ma, W., Yu, C. Y., ve Wei, H. (2024), Stabilized, ROS-sensitive β -cyclodextrin-grafted hyaluronic supramolecular nanocontainers for CD44-targeted anticancer drug delivery, *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 242. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2024.114081>.

PIMA INDIANS VERİSETİNİN KABA KÜMELEME TEORİSİ KULLANILARAK İNDİRGENMESİ VE KARAR KURALLARININ ÇIKARTILMASI

Öğr. Mehmet YÜKSEL

Sakarya Üniversitesi, Bilgisayar ve Bilişim Bilimleri Fakültesi, Bilişim Sistemleri Mühendisliği
Bölümü, Serdivan, Sakarya, mehmet.yuksel9@ogr.sakarya.edu.tr,
ORCID NO: 0009-0008-2058-7298

Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin DEMİRCİ

Sakarya Üniversitesi, Bilgisayar ve Bilişim Bilimleri Fakültesi, Bilişim Sistemleri Mühendisliği
Bölümü, Serdivan, Sakarya, huseyind@sakarya.edu.tr,
ORCID NO: 0000-0002-5784-0786

Özet

Günümüzde diyabet gibi kronik hastalıkların erken teşhis edilmesi, hastalığın yönetiminde ve komplikasyonların önlenmesinde kritik bir öneme sahiptir. Bu çalışmada, Pima Indians Diabetes veri seti üzerinde kaba kümeleme teorisi kullanılarak veri indirgeme ve karar kurallarının oluşturulması hedeflenmiştir. Veri setindeki gereksiz değişkenler elimine edilmiş ve indirgenmiş bir veri seti oluşturularak bu set üzerinde karar kuralları elde edilmiştir. Geliştirilen modelin doğruluğu, "Rosetta" yazılımıyla karşılaştırılarak test edilmiş ve her iki yöntemin vermiş olduğu sonuçlar yorumlanmıştır. Çalışmanın birinci bölümünde diyabet hastalığının önemi, erken teşhis süreçleri ve makine öğrenimi yaklaşımlarının bu süreçlere katkısı ele alınmıştır. İkinci bölümünde, kaba kümeleme teorisinin matematiksel temelleri ve literatürdeki uygulamaları incelenmiştir. Üçüncü bölümünde, Pima Indians Diabetes veri setinin özellikleri, ön işleme adımları ve kategorik hale getirilme süreçleri ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır. Dördüncü bölümünde, geliştirilen yöntem ve modelleme süreçleri detaylandırılarak veri indirgeme işlemleri ve elde edilen karar kuralları üzerinde durulmuştur. Beşinci bölümünde bulgular değerlendirilmiş, "Rosetta" yazılımı ile geliştirilen modelin uyum analizi yapılmıştır. Altıncı bölümünde çalışmanın genel bir değerlendirilmesi yapılmıştır. Son olarak yedinci bölümünde ise gelecekteki çalışmalar için öneriler sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Diyabet, Kaba Kümeleme Teorisi, Veri İndirgeme, Karar Kuralları, Pima Indians Diabetes Veri Seti

REDUCTION OF PIMA INDIANS DATASET USING ROUGH CLUSTERING THEORY AND EXTRACTION OF DECISION RULES

Abstract

Nowadays, early diagnosis of chronic diseases such as diabetes has a critical importance in the management of the disease and prevention of complications. In this study, it is aimed to create data reduction and decision rules using rough clustering theory on the Pima Indians Diabetes dataset. Unnecessary variables in the data set were eliminated and a reduced data set was created and decision rules were obtained on this set. The accuracy of the developed model was tested by comparing it with the 'Rosetta' software and the results of both methods were interpreted.

In the first part of the study, the importance of diabetes disease, early diagnosis processes and the contribution of machine learning approaches to these processes are discussed. In the second part, the mathematical foundations of rough clustering theory and its applications in the literature are analysed. In the third section, the characteristics of the Pima Indians Diabetes dataset, preprocessing steps and categorisation processes are explained in detail. In the fourth section, the developed method and modelling processes are detailed and the data reduction processes and the decision rules obtained are discussed. In the fifth section, the findings are evaluated and the fit analysis of the model developed with 'Rosetta' software is performed. In the sixth section, a general evaluation of the study is made. Finally, in the seventh section, suggestions for future studies are presented.

Keywords: Diabetes, Rough Clustering Theory, Data Reduction, Decision Rules, Pima Indians Diabetes Dataset

1.GİRİŞ

Diyabet, günümüzde hem bireysel hem de toplumsal boyutta ciddi etkiler yaratan kronik bir hastalık olarak öne çıkmaktadır. Metabolik bir bozukluk olan diyabet, pankreasın yeterli miktarda insülin üretememesi veya vücudun üretilen insülini etkili bir şekilde kullanamaması sonucu ortaya çıkar. Diyabetin kontrol altına alınamaması durumunda, kalp-damar hastalıkları, böbrek yetmezliği ve görme kaybı gibi çok ciddi komplikasyonlar gelişebilmektedir. Bu sebeple, diyabetin erken dönemde tespit edilmesi, etkili bir tedavi süreci planlanması ve yaşam kalitesinin artırılması için kritik öneme sahiptir. Dünya Sağlık Örgütü'nün verilerine göre dünya genelinde yaklaşık 422 milyon diyabet hastası bulunmaktadır ve her yıl 1,5 milyon ölüm doğrudan diyabetle ilişkilidir. (World Health Organization, 2024) Bu rakamlar, erken teşhisin ve hastalık yönetiminin ne kadar önemli olduğunu bir kez daha gözler önüne sermektedir. Diyabet hastalığının bu denli yaygın olması, etkili teşhis ve yönetim yöntemlerinin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda, teknolojinin ve tıbbın birleştiği noktada gelişen yeni yaklaşımlar, hastalık teşhis süreçlerinde çözüm odaklı yöntemler sunmaktadır.

Teknolojinin sağlık alanındaki gelişimleri, makine öğrenmesi ve veri bilimi gibi disiplinler aracılığıyla tıbbi verilerin daha etkili bir şekilde analiz edilmesine olanak tanımaktadır. Bu yöntemler, hastalıklarla ilgili verilerin çözümlenmesinde ve hastalık riskinin tahmin edilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Özellikle "Pima Indians Diabetes" veri seti, diyabetin erken dönemde teşhis edilmesine yönelik birçok çalışmada kullanılan, bilimsel olarak kabul görmüş önemli bir veri kaynağıdır. Pima Kızılderililerine ait bu veri seti, bireylerin diyabet durumu ile ilişkili birçok özellik barındırması nedeniyle, diyabet tahmin modellerinin geliştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır.

Bu çalışmada, kaba kümeleme teorisi (Rough Set Theory) kullanılarak diyabet teşhisi için yenilikçi bir yaklaşım sunulmaktadır. Kaba kümeleme teorisi, belirsizlik içeren veri setlerinde önemli bilgilere erişim sağlayan etkili bir yöntemdir. Bu çerçevede, öncelikle "Pima Indians Diabetes" veri setinde yer alan gereksiz değişkenler elimine edilmiş ve indirgenmiş bir veri seti oluşturulmuştur. Daha sonra, bu indirgenmiş veri seti kullanılarak karar kuralları belirlenmiş ve geliştirilen modelin etkinliği test edilmiştir.

Geliştirilen yöntemin etkinliğini doğrulamak amacıyla "Rosetta" yazılımı kullanılarak elde edilen karar kuralları, bu çalışmanın sonucunda oluşturulan modelle karşılaştırılmış ve uyum analizleri gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, geliştirilen modelin hem veri indirgeme süreçlerinde hem de teşhis kurallarının doğruluğunda başarılı olduğu gösterilmiştir.

Bu çalışma, kaba kümeleme teorisinin diyabet teşhisinde nasıl etkili bir yöntem olabileceğini ortaya koymakta ve bu alanda yapılan literatür çalışmalarına anlamlı bir katkı sunmayı amaçlamaktadır. Bu sayede, diyabet gibi kronik hastalıkların teşhis ve tedavi süreçlerinde teknolojinin sağladığı yeniliklerden daha fazla yararlanılması mümkün olacaktır. Ayrıca bu çalışma, geliştirilecek yeni yazılımların daha az karmaşık veri setleri üzerinde tahminleme ve modelleme yapmasını mümkün kılacaktır. Böylelikle gerçek zamanlı olarak çalışacak sistemlerin önündeki hız ve maliyet gibi etkenler, kaba kümeleme teorisi yaklaşımı ile daha etkili bir şekilde aşılabilecektir.

2.LİTERATÜR TARAMASI

Kaba küme teorisi, belirsiz ve eksik veri setlerini analiz etmek için güçlü bir yöntem olarak birçok farklı alanda uygulanmıştır. Literatürde yer alan bazı çalışmaları spesifik olarak ele alacak olursak; Yıldırım ve Taşçı (2020), uçak motorlarının sağlık durumunun izlenmesi ve arıza tahmini için veri setlerini optimize etmek amacıyla kaba küme teorisini kullanmış ve motor performansını etkileyen önemli parametreleri belirlemişlerdir. Benzer şekilde, Telçeken ve Doğan (2004), baş ağrısı hastalıklarının teşhisini kolaylaştırmak için verileri sınıflandırarak hızlı teşhis sağlayan bir yöntem geliştirmişlerdir.

Erden ve Tüysüz (2014), ABD'deki trafik kazalarını analiz etmek için kaba küme teorisini uygulamış ve kazaların şiddetini etkileyen faktörleri ortaya koymuşlardır. Tekstil sektöründe, Erden ve Nazarov (2016) ipliklerin sürtünme özelliklerini değerlendirmiş, hammadde türünün bu özellik üzerinde belirleyici bir etkisi olduğunu göstermişlerdir.

Çelebi ve Kurtuluş (2016), perakende mağaza satış performansını etkileyen faktörleri analiz ederek, kaba küme teorisi ve ID3 algoritması ile anlamlı karar kuralları oluşturmuşlardır. Sağlık alanında, Çekik ve Telçeken (2014), EKG sinyallerinin sınıflandırılmasını optimize etmiş ve teşhis süreçlerini hızlandırmıştır. Benzer bir yaklaşımla, Bayazıt ve Uçan (2019) tüketici davranışlarını öngörmek için kaba küme teorisi ve LEM2 algoritmasını kullanarak anket verilerini analiz etmişlerdir.

Son olarak, Mağden ve Telçeken (2016), Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Tıp Fakültesi'nden elde edilen EKG verilerini olasılıksal kaba küme teorisi ile değerlendirerek, sınıflandırma doğruluğunu optimize etmiş ve genellik değerini artırmayı başarmışlardır. Bu çalışmalar, kaba küme teorisinin farklı disiplinlerdeki belirsiz verilerin analizinde etkili bir araç olduğunu göstermektedir.

Tablo 1. Literatür Taramalarının Derlenmesi

No	Yazar	Çalışmanın Amacı	Yöntem	Bulgular	Sonuç
1	Beyazıt ve Uçan (2019)	Tüketici davranışlarını öngörmek için anket verilerini analiz etmek.	Kaba küme teorisi, LEM2 algoritması	Davranışların eğitim seviyesi, gelir düzeyi gibi faktörlerden etkilendiği görülmüştür.	Anket gibi eksik veri içeren çalışmalar için etkili bir yöntem geliştirilmiştir.
2	Çekik ve Telçeken (2014)	EKG sinyallerinin sınıflandırılmasını analiz etmek.	Kaba küme teorisi, ROSE ve WEKA yazılımları	Eksik ve belirsiz verilerin düzenlenmesiyle teşhis süreçleri hızlandırılmıştır.	Kaba küme teorisi sağlık alanında etkili bir araç olarak sunulmuştur.
3	Çelebi ve Kurtuluş (2016)	Mağaza satış performansını etkileyen faktörleri analiz etmek.	Kaba küme teorisi, ID3 algoritması	Satışları etkileyen temel faktörler ve karar kuralları belirlenmiştir.	Stratejik planlamalara katkı sağlayacak analizler sunulmuştur.
4	Erden ve Nazarov (2016)	İpliklerin sürtünme özelliklerini analiz etmek.	Kaba küme teorisi, ROSE2 yazılımı	Hammadde türünün sürtünme üzerinde en önemli faktör olduğu tespit edilmiştir.	Tekstil sektöründe karar süreçlerine katkı sağlanmıştır.
5	Erden ve Tüysüz (2014)	Trafik kazalarının sebeplerini ve sonuçlarını analiz etmek.	Kaba küme teorisi, EM algoritması	Kaza şiddetini etkileyen faktörler belirlenmiştir.	Trafik kazalarını önlemeye yönelik veri sağlanmıştır.
6	Mağden ve Telçeken. (2016)	EKG verilerinin olasılıksal kaba küme teorisi ile sınıflandırılması.	Kaba küme teorisi (KKT) ve Olasılıksal kaba küme teorisi (OKKT)	Genellik değeri %49 artırılmış, sınıflandırma doğruluğu optimize edilmiştir.	Sağlık alanında uzman sistemler için faydalı bir araç önerilmiştir.
No	Yazar	Çalışmanın Amacı	Yöntem	Bulgular	Sonuç
7	Telçeken ve Doğan (2004)	Baş ağrısı hastalıklarının sınıflandırılması.	Kaba küme teorisi	Hastalık belirtileri analiz edilmiş,	Teşhis ve karar destek sistemleri için faydalı bir

				teşhis süreçleri hızlandırılmıştır.	yöntem sunulmuştur.
8	Yıldırım ve Taşçı (2020)	Uçak motorlarının arıza tahmini için veri setlerini optimize etmek.	Kaba küme teorisi, veri madenciliği	Gereksiz veriler elenmiş, anlamlı parametreler belirlenmiştir.	Tahmin doğruluğunu artıran veri seti elde edilmiştir.

3. VERİ SETİ

3.1. Veri setinin İncelenmesi

Bu çalışmada, literatürde yaygın olarak bilinen ve "Pima Indians Diabetes" adıyla anılan veri seti kullanılmıştır. Bu veri seti, 768 farklı Pima Kızılderili kadınına ait sekiz temel özelliği içermektedir. Veri seti, diyabet hastalığının erken teşhisi ve analizinde çoğunlukla referans olarak kullanılan önemli bir kaynak niteliğindedir. Pima Kızılderilileri topluluğu, diyabetin yaygınlığı bakımından dikkat çeken bir örnek sunmakta olup, bu veri seti üzerinde çalışılması, hastalık risk faktörlerinin daha iyi anlaşılmasına katkı sağlamaktadır. (Pima Indians Diabetes Database, 2024)

Tablo 2. Pima Indians veri setindeki ilk beş kayıt

Pregnancies	Glucose	BloodPressure	SkinThickness	Insulin	BMI	DiabetesPedigreeFunction	Age	Outcome
6	148	72	35	0	33.6	0.627	50	1
1	85	66	29	0	26.6	0.351	31	0
8	183	64	0	0	23.3	0.672	32	1
1	89	66	23	94	28.1	0.167	21	0
0	137	40	35	168	43.1	2.288	33	1

3.2. Eleştirel Değerlendirme ve Öneriler

Tablo 2'de ilk on kaydına yer verilen veri seti toplamda 768 farklı kayıt içermektedir. Her bir kayıt, özgün bir hastayı temsil etmekte; en üstte yer alan satır ise ilgili verilerin hangi niteliğe karşılık geldiğini göstermektedir.

Veri seti çeşitli fizyolojik ve klinik özellikler içermektedir. Bu özellikler şu şekilde tanımlanabilir:

- **Pregnancies:** Hastanın kaç kez hamile kaldığı.
- **Glucose:** Plazma glikoz konsantrasyonu.
- **BloodPressure:** Diyastolik kan basıncı (mm Hg).
- **SkinThickness:** Triseps deri kalınlığı (mm).
- **Insulin:** İnsülin seviyesi ($\mu\text{U/ml}$).
- **BMI:** Vücut kitle indeksi (kg/m^2).
- **DiabetesPedigreeFunction (DPF):** Diyabet soy ağacı fonksiyonu.
- **Age:** Hastanın yaşı.
- **Outcome:** Diyabet durumu (1: Diyabet, 0: Diyabet değil).

Her bir özellik, diyabet hastalığının tanısı ve yönetimi için kritik bilgiler sunmaktadır. Veri setinde ayrıca eksik veya olağan dışı değerler bulunmakta olup, bu durum analizin doğruluğunu etkileyebilecek potansiyele sahiptir. Örneğin, BMI değerinin 0 olması biyolojik olarak mümkün olmadığından, bu tür verilerin uygun şekilde işlenmesi gerekmektedir.

Veri setindeki eksik veriler ve olağan dışı gözlemler, veri ön işleme sürecinde dikkate alınmış ve uygun şekilde düzenlenmiştir. Veri setindeki bu yapı, hem özelliklerin anlamlı bir biçimde analiz edilmesini hem de modelleme sürecinde etkili tahminler yapılmasını sağlamaktadır.

Sonraki başlıkta, veri setindeki eksikliklerin ve olağan dışı değerlerin giderilmesine yönelik veri önışleme adımları ayrıntılı olarak ele alınacaktır. İlk olarak, eksik veriler ve tutarsızlıklar düzenlenecek, ardından kaba kümeleme teorisinin uygulanabilmesi için sayısal veriler kategorik verilere dönüştürülecektir. Bu adımlar, veri setini kaba kümeleme teorisine uygun hale getirerek, karar kurallarının doğru ve güvenilir bir şekilde oluşturulmasını sağlamayı amaçlamaktadır.

3.3. Veri Önışleme Süreci

Veri önışleme sürecinde, öncelikle veri setindeki eksik ve olağan dışı değerler tespit edilmiştir. Analiz sırasında, bazı değişkenlerin mantıksız veya eksik değerler içerdiği gözlemlenmiştir. Örneğin, BMI ve glikoz seviyesinin sıfır olması biyolojik açıdan mümkün olmadığından, bu tür anormal değerler uygun yöntemlerle düzeltilmiştir. Eksik değerlerin işlenmesinde ortalama veya medyan doldurma yöntemleri kullanılmıştır. Bu seçim, ilgili değişkenlerin dağılım özelliklerine bağlı olarak yapılmıştır; simetrik dağılımlar için ortalama, çarpık dağılımlar için medyan tercih edilmiştir.

Veri setinde yer alan olağan dışı değerlerin belirlenmesi ve ele alınması için istatistiksel yöntemlerden yararlanılmıştır. Özellikle, aşırı yüksek veya düşük değerlerin aykırılık analizi ile tespiti yapılmış ve bu değerler analizde dengeli bir şekilde işlenmiştir. Bu işlem sırasında, gerçekçi olmayan değerlerin impute edilmesi veya çıkarılması sağlanmıştır.

Dengesiz sınıf dağılımı, sınıflandırma süreçlerini olumsuz etkileyebilecek bir diğer faktör olarak dikkate alınmıştır. Veri setinde diyabet hastası olan bireylerin sayısının olmayanlara göre daha düşük olduğu görülmüştür. Bu dengesizliğin giderilmesi için yeniden örnekleme yöntemleri uygulanmış ve dengeli bir veri seti elde edilmiştir.

Son olarak, veri seti her bir değişken için belirlenen mantıksal eşikler doğrultusunda kategorik değerlere dönüştürülmüştür. Bu dönüşüm süreci, her bir değişkenin anlamlı aralıklara bölünmesini sağlayarak, kaba kümeleme teorisinin gereksinimlerine uygun bir veri yapısı oluşturmayı amaçlamıştır. Örneğin, hamilelik sayısı düşük, orta ve yüksek olarak sınıflandırılmış; glikoz seviyeleri düşükten çok yüksek aralığına kadar kategorize edilmiştir. Benzer şekilde, kan basıncı, insülin seviyeleri ve diğer değişkenler için de spesifik eşikler tanımlanarak kategorik değerler oluşturulmuştur.

Bu süreç sonunda, veri seti hem analiz hem de modelleme aşamaları için uygun hale getirilmiştir. Tüm bu adımlar, kaba kümeleme teorisinin etkin bir şekilde uygulanmasını mümkün kılacak şekilde yapılandırılmıştır.

Tablo 3. Kategorik veri setindeki ilk beş kayıt

Pregnancies	Glucose	BloodPressure	SkinThickness	Insulin	BMI	DiabetesPedigreeFunction	Age	Outcome
Orta düzeyde hamilelik	Yüksek	Normal	Çok kalın	Yüksek	Obez	Orta risk	Orta yaşlı	Diyabet hastası
Düşük sayıda hamilelik	Düşük	Normal	Kalın	Yüksek	Fazla kilolu	Düşük risk	Yetişkin	Sağlıklı
Yüksek hamilelik sayısı	Çok yüksek	Normal	Kalın	Yüksek	Normal	Orta risk	Yetişkin	Diyabet hastası
Düşük sayıda hamilelik	Düşük	Normal	Kalın	Normal	Fazla kilolu	Düşük risk	Genç	Sağlıklı
Hiç hamile kalmamış	Normal	Düşük	Çok kalın	Yüksek	Obez	Yüksek risk	Yetişkin	Diyabet hastası

4.YÖNTEM VE MATERYALLER

4.1. Kaba Kümeleme Teorisi (Rough Set Theory)

Kaba Kümeleme Teorisi (KKT), belirsizlik ve eksik bilgilere sahip veri setlerini analiz etmek için kullanılan matematiksel bir yöntemdir. Bu teori, 1980'li yıllarda Zdzisław Pawlak tarafından geliştirilmiştir (Pawlak, 1982). KKT, veri madenciliği, yapay zekâ ve karar destek sistemleri gibi birçok

alandan uygulama alanı bulmuştur. Teorinin temel amacı, belirsiz ve tutarsız verileri düzenleyerek veri analizi için uygun hale getirmektir. Ayrıca, KKT veri indirgeme, örüntü keşfi ve kural çıkarımı gibi işlemlerde etkin bir şekilde kullanılmaktadır (Çelebi ve Kurtuluş, 2016; Çekik ve Telçeken, 2014).

4.1.1. Bilgi Sistemi

Kaba Kümeleme Teorisi'nin temel yapı taşı bilgi sistemidir. Bilgi sistemi, bir nesne kümesi ve bu nesnelere ait özniteliklerden oluşur. Bilgi sistemi, $IS = (U, A)$ şeklinde ifade edilir. Burada U , evren kümesini; A ise özniteliklerin kümesini temsil eder (Pawlak ve Slowinski, 1994). Bilgi sistemi, verilerin yapılandırılmış bir şekilde analiz edilmesine olanak tanır. Özellikle sağlık verileri gibi belirsizliğin yoğun olduğu alanlarda, bu sistem verilerin sınıflandırılmasında kritik bir rol oynar (Çekik ve Telçeken, 2014).

$$IS = (U, A)$$

U : Boş Olmayan Sonlu Nesne Kümesi ($\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$)

A : Boş Olmayan Sonlu Nitelik Kümesi ($\{a_1, a_2, \dots, a_n\}$)

4.1.2. Ayırt Edilemezlik

Ayırt edilemezlik ilişkisi, bilgi sistemi içerisindeki nesnelerin belirli özniteliklere göre eşdeğer olup olmadığını belirler. Bu ilişki, nesnelerin aynı bilgiye sahip olduğu durumlarda geçerlidir ve $Ind(B)$ ile ifade edilir. Eğer iki nesne belirli bir öznitelik kümesine göre ayırt edilemiyorsa, bu nesneler aynı denklik sınıfına ait kabul edilir (Pawlak ve Skowron, 2007). Ayırt edilemezlik ilişkisi, veri setinin indirgenmesi ve önemli özniteliklerin belirlenmesi sürecinde kritik öneme sahiptir (Çelebi ve Kurtuluş, 2016).

4.1.3. Temel Setler

Kaba Kümeleme Teorisi'nde temel setler, alt yaklaşım ve üst yaklaşım kümeleri olmak üzere iki ana kavrama dayanır. Alt yaklaşım kümesi, bir nesnenin kesin olarak bir kümeye ait olduğu durumları temsil ederken, üst yaklaşım kümesi bir nesnenin olasılıkla bir kümeye ait olabileceği durumları içerir (Pawlak, 2002). Bu iki yaklaşım kümesi arasındaki fark, sınır bölgesi olarak adlandırılır ve şu şekilde ifade edilir: Alt Yaklaşım Kümesi (1), Üst yaklaşım kümesi (2) ve Sınır Bölgesi (3) ile ifade edilmiştir.

$$\underline{BX} = \{x_i \in U \mid [x_i]_{IND(B)} \subset X\} \quad (1)$$

$$\overline{BX} = \{x_i \in U \mid [x_i]_{IND(B)} \cap X \neq \emptyset\} \quad (2)$$

$$BN(X) = \overline{BX} \setminus \underline{BX} \quad (3)$$

4.1.4. Karar Kuralları

Kaba Kümeleme Teorisi'nde, karar kuralları veri setindeki bilgiyi temsil eden temel bileşenlerdir. Bu kurallar, koşul öznitelikleri ile karar öznitelikleri arasındaki ilişkiyi tanımlar ve verilerin sınıflandırılmasında kullanılır. Karar kuralları genellikle, 'Eğer...ise...' şeklinde ifade edilir. Bu yöntem, özellikle sağlık alanında hastalık teşhisinde doğru ve anlamlı sonuçlar elde edilmesine olanak tanır. Karar kuralları, temel setlerden ve ayırt edilemezlik matrislerinden türetilir. Bu kurallar, koşul öznitelikleri ile karar öznitelikleri arasındaki ilişkiyi temsil eder ve verilerin sınıflandırılması için güçlü bir yöntem sunar. Örneğin, bir karar kuralı şu şekilde ifade edilebilir: Eğer (Koşul Özniteliği 1 = A) ve (Koşul Özniteliği 2 = B) ise (Karar Özniteliği = C). Bu tür kurallar, veri analizi ve örüntü keşfi süreçlerinde kritik bir rol oynar (Çekik ve Telçeken, 2014).

5. MODELİN GERÇEKLENMESİ

5.1. Diyabet Veri setine Kaba Kümeleme Teorisinin Uygulanması

Bu bölümde, önceden kategorik hale dönüştürülmüş olan veri seti üzerinde kaba kümeleme teorisinin uygulanması ayrıntılı bir şekilde ele alınmıştır. Kaba kümeleme teorisi, belirsizlik ve eksik bilgi içeren veri setlerini anlamlı hale getirmek için etkin bir yaklaşım sunar. Bu bölümde ilk olarak diyabet veri setindeki değişkenlerin karar verme sürecindeki önemlerini analiz ederek gereksiz değişkenlerin elimine

edilip edilmeyeceği yorumlanacak; akabinde elimine edilmiş veri seti kullanılarak karar kuralları oluşturulacaktır.

Kaba kümeleme teorisinin uygulanmasında ilk adım, veri setindeki nesnelerin temel kümelerinin (Alt Yaklaşım Kümesi ve Üst Yaklaşım Kümesi) oluşturulmasıdır. Alt Yaklaşım Kümesi, bir nesnenin kesin olarak bir gruba ait olduğunu belirlerken, Üst Yaklaşım Kümesi, nesnelerin olası bir gruba dahil olabileceğini gösterir.

Veri setinin indirgenmesi sürecinde, öznelilikler arasındaki ayrılmazlık ilişkisi (Indiscernibility Relation) önemli bir rol oynamıştır. Ayrılmazlık ilişkisi, belirli bir öznelilik kümesine göre birbirinden ayırt edilemeyen nesneleri belirlemek için kullanılmıştır. Bu işlem, veri setindeki özneliliklerin karar verme sürecinde önem derecesini analiz etmek için kritik bir adımdır.

Bu çalışmada, ayrılmazlık ilişki matrisi kullanılarak, her bir değişken veri setinden çıkarıldığında bu ilişkinin nasıl etkilendiği hesaplanmıştır. Veri setinde bulunan değişkenler (Pregnancies, Glucose, BloodPressure, SkinThickness, Insulin, BMI, DiabetesPedigreeFunction, Age, Outcome) üzerinde tek tek analiz yapılmış ve her bir değişkenin çıkarılması durumunda ayrılmazlık ilişki değeri hesaplanmıştır. Analiz sonucunda, veri setinin mevcut haliyle (hiçbir değişkenin çıkarılmadığı durum) ayrılmazlık ilişki değeri 552 olarak hesaplanmıştır. Buna karşılık, her bir değişkenin çıkarılması durumunda Şekil 1'deki değerler elde edilmiştir.

Sütun	İnd Değeri	Açıklama
Sütun Çıkarılmadı	552	-
Pregnancies	423	Pregnancies sütunu veri setinden çıkartılabilir mi? (Çıkartılmaz)
Glucose	422	Glucose sütunu veri setinden çıkartılabilir mi? (Çıkartılmaz)
BloodPressure	454	BloodPressure sütunu veri setinden çıkartılabilir mi? (Çıkartılmaz)
SkinThickness	457	SkinThickness sütunu veri setinden çıkartılabilir mi? (Çıkartılmaz)
Insulin	465	Insulin sütunu veri setinden çıkartılabilir mi? (Çıkartılmaz)
BMI	439	BMI sütunu veri setinden çıkartılabilir mi? (Çıkartılmaz)
DiabetesPedigreeFunction	465	DiabetesPedigreeFunction sütunu veri setinden çıkartılabilir mi? (Çıkartılmaz)
Age	476	Age sütunu veri setinden çıkartılabilir mi? (Çıkartılmaz)

Şekil 1. Veri setindeki değişkenlerin gereklilik analizi

Kaba kümeleme teorisinin temel kurallarına göre, bir değişkenin veri setinden çıkarılabilmesi için, değişken çıkarıldığında elde edilen ayrılmazlık ilişki değerinin, mevcut veri setindeki ayrılmazlık ilişki değerine eşit olması gerekmektedir. Ancak, yukarıdaki sonuçlara göre, herhangi bir değişken çıkarıldığında ayrılmazlık ilişki değeri mevcut değere eşit değildir. Bu nedenle, veri setinden herhangi bir değişkenin çıkarılması mümkün olmamıştır.

Veri setinin indirgenmiş hali, mevcut haliyle aynı olduğundan bu veri seti kullanılarak karar kuralları oluşturulmuştur. İlk olarak, veri seti üzerinde reduct'lar hesaplanmış ve bu reduct'lar kullanılarak fark edilebilirlik matrisi oluşturulmuştur. Bu matrisin yardımıyla, mevcut veri setinden toplamda 602 adet karar kuralı elde edilmiştir. Bu kurallar, "Eğer ... ise ..." şeklinde ifade edilmekte olup, karar verme süreci için kritik bilgiler sunmaktadır. (Şekil 2)

Kural Metni	Sonuç
(Pregnancies.Orta düzeyde hamilelik) ve (Glucose.Yüksek) ve (BloodPressure.Normal) ve (SkinThickness.Çok kalın) ve (Insulin.Yüksek) ve (BMI.Obes) ve (DiabetesPedigreeFunction.Orta risk) ve (Age.Orta yaşlı)	Diabet hastası
(Pregnancies.Düşük sayıda hamilelik) ve (Glucose.Düşük) ve (BloodPressure.Normal) ve (SkinThickness.Kalın) ve (Insulin.Yüksek) ve (BMI.Fazla kilolu) ve (DiabetesPedigreeFunction.Düşük risk) ve (Age.Yetişkin)	Sağlıklı
(Pregnancies.Yüksek hamilelik sayısı) ve (Glucose.Çok yüksek) ve (BloodPressure.Normal) ve (SkinThickness.Kalın) ve (Insulin.Yüksek) ve (BMI.Normal) ve (DiabetesPedigreeFunction.Orta risk) ve (Age.Yetişkin)	Diabet hastası
(Pregnancies.Düşük sayıda hamilelik) ve (Glucose.Düşük) ve (BloodPressure.Normal) ve (SkinThickness.Kalın) ve (Insulin.Normal) ve (BMI.Fazla kilolu) ve (DiabetesPedigreeFunction.Düşük risk) ve (Age.Genç)	Sağlıklı
(Pregnancies.Hiç hamile kalmamış) ve (Glucose.Normal) ve (BloodPressure.Düşük) ve (SkinThickness.Çok kalın) ve (Insulin.Yüksek) ve (BMI.Obes) ve (DiabetesPedigreeFunction.Yüksek risk) ve (Age.Yetişkin)	Diabet hastası
(Pregnancies.Orta düzeyde hamilelik) ve (Glucose.Normal) ve (BloodPressure.Normal) ve (SkinThickness.Kalın) ve (Insulin.Yüksek) ve (BMI.Fazla kilolu) ve (DiabetesPedigreeFunction.Düşük risk) ve (Age.Genç)	Diabet hastası/Sağlıklı

Şekil 2. Geliştirilen yazılım ile elde edilen ilk beş karar kuralı

Ek olarak, "Rosetta" yazılımı kullanılarak mevcut veri seti üzerinde benzer bir şekilde reduct'lar hesaplanmış ve bu reduct'lar yardımıyla karar kuralları elde edilmiştir. Her iki çıktı karşılaştırıldığında, geliştirilen yazılımın doğru şekilde çalıştığı ve karar kurallarının başarıyla oluşturulduğu gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak, bu analiz süreci veri setinin indirgenme işleminin başarıyla gerçekleştirildiğini ve karar kurallarının anlamlı bir şekilde elde edilebildiğini ortaya koymuştur. Elde edilen bu karar kuralları, diyabetin erken tanısında ve risk faktörlerinin belirlenmesinde etkili bir yöntem sunmaktadır.

6.BULGULAR

Bu çalışma kapsamında elde edilen bulgular, diyabet veri setine kaba kümeleme teorisinin uygulanmasının etkinliğini ve sağladığı faydaları ortaya koymaktadır.

6.1. Veri İndirgeme ve Ayrılmazlık Analizi

Yapılan analizler sonucunda, veri setindeki tüm değişkenlerin karar verme süreci için kritik öneme sahip olduğu ve herhangi bir değişkenin çıkarılması durumunda ayrılmazlık ilişkisi değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Bu durum, veri setindeki tüm değişkenlerin korunduğu mevcut yapının optimal olduğunu göstermiştir. Ayrıca, ayrılmazlık ilişkisi analizi sürecinde geliştirilen yazılım, teorik olarak beklenen sonuçlarla uyumlu çıktılar vermiş ve yöntemin doğruluğu teyit edilmiştir.

6.2. Karar Kurallarının Elde Edilmesi

Mevcut veri setinden toplamda 602 adet karar kuralı oluşturulmuş ve bu kuralların anlamlılığı incelenmiştir. Elde edilen karar kuralları, özellikle diyabetin erken tanısı ve risk faktörlerinin belirlenmesi sürecinde etkin bir bilgi tabanı oluşturmuştur. "Rosetta" yazılımından elde edilen kurallar ile geliştirilen yazılımın çıktıları karşılaştırılmış ve her iki yöntemin uyumlu sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu bulgu, geliştirilen yazılımın güvenilirliğini desteklemektedir.

6.3. Çalışmanın Etkinliği

Geliştirilen yöntem ve yazılım sayesinde, kaba kümeleme teorisinin diyabet verisine uygulanabilirliği başarıyla gösterilmiştir. İndirgenmiş veri seti ve karar kurallarının elde edilmesi, hastalığın tanısında ve tedavi yöntemlerinin belirlenmesinde anlamlı bir yol haritası sunmuştur. Bu bağlamda, elde edilen bulguların hem literatüre hem de pratik uygulamalara katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir.

7.TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada, kaba kümeleme teorisinin diyabet veri setine uygulanabilirliği incelenmiş ve elde edilen sonuçlar doğrultusunda bu yöntemin etkinliği ortaya konmuştur. Analizler, veri setindeki tüm değişkenlerin kritik öneme sahip olduğunu göstermiş ve karar kurallarının başarıyla oluşturulmasına olanak sağlamıştır. Geliştirilen yazılım hem teorik altyapı hem de pratik uygulama açısından beklentileri karşılayarak, elde edilen sonuçların doğruluğunu teyit etmiştir.

Kaba kümeleme teorisinin sağlık alanındaki bu uygulaması, diyabet gibi kronik hastalıkların teşhis ve yönetiminde yeni bir perspektif sunmaktadır. Özellikle karar kurallarının elde edilmesiyle, diyabetin erken tanısına yönelik daha etkin ve düşük maliyetli sistemlerin geliştirilmesine imkân sağlanmıştır. Elde edilen bulgular, bu yöntemin yalnızca diyabet değil, diğer hastalıklar için de uygulanabileceğini göstermektedir.

Gelecek çalışmalar için, elde edilen bulguların daha geniş veri setlerinde test edilmesi önerilmektedir. Özellikle farklı popülasyonlardan alınan verilerle yapılacak çalışmalar, yöntemin genelleştirilebilirliğini değerlendirme açısından önem arz etmektedir. Ayrıca, gerçek zamanlı veri işleme ve tahminleme süreçlerine yönelik algoritmaların geliştirilmesi, bu yöntemin pratik kullanımını daha da artırabilir. Kaba kümeleme teorisinin makine öğrenmesi ve yapay zekâ algoritmalarıyla entegre edilmesi, gelecekte daha karmaşık problemler için güçlü çözümler sunma potansiyeline sahiptir. Bu bağlamda, önerilen yöntem, hem sağlık alanındaki yenilikçi yaklaşımlara katkı sağlamakta hem de literatürdeki mevcut boşlukları doldurmaktadır.

KAYNAKLAR

Bayazıt, N. G., ve Uçan, Y. (2019), Kaba küme yaklaşımıyla tüketici davranışlarının öngörülmesi, *Marmara Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 41(1), 51-64.

- Çekik, R., ve Telçeken, S. (2014), EKG sinyallerinin kaba kümeler teorisi kullanılarak sınıflandırılması, *Anadolu University of Sciences & Technology A: Applied Sciences & Engineering*, 15(2).
- Çelebi, N., ve Kurtuluş, Z. (2016), Mağaza özelliklerinin satışlar üzerine olan etkisinin kaba küme teorisi ile analizi, 3. *Uluslararası Yönetim Bilişim Sistemleri Konferansı* (s. 116)
- Erden, C., ve Nazarov, M. (2016), İplik sürtünme özelliklerinin incelenmesinde kaba kümeler yaklaşımı, *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(1), 75–86.
- Erden, C., ve Tüysüz, F. (2014), An application of rough sets theory on traffic accidents, *An International Conference on Engineering and Applied Sciences Optimization* (Haziran), 4–6.
- MAĞDEN, B., ve TELÇEKEN, S. (2016), Olasılıksal kaba kümeler teorisi yaklaşımı ile EKG verilerinin sınıflandırılması, *Anadolu University Journal of Science and Technology A-Applied Sciences and Engineering*, 17(1), 159–166.
- PAWLAK, Z. (1982), Rough sets, *International Journal of Computer and Information Sciences*, 11, 341–356. <https://doi.org/10.1007/BF01001956>
- PAWLAK, Z. (2002), Rough sets and intelligent data analysis, *Information Sciences*, 147(1-4), 1-12.
- PAWLAK, Z., & SKOWRON, A. (2007), Rudiments of rough sets, *Information Sciences*, 177(1), 3-27.
- PAWLAK, Z., & SŁOWINSKI, R. (1994), Decision analysis using rough sets, *International Transactions in Operational Research*, 1(1), 107-114.
- Pima Indians Diabetes Database (2024, December 24), [Online], Erişim: <https://www.kaggle.com/datasets/uciml/pima-indians-diabetes-database>.
- Rosetta (2024, December 24), [Online], Erişim: <https://github.com/komorowskilab/R.ROSETTA>.
- TELÇEKEN, S., & DOĞAN, M. (Yıl), *Kaba Kümeler Teorisi Yardımı ile Büyük Veri Topluluklarının Analizi*, Erişim: <http://dx.doi.org/10.13140/2.1.1664.5924>.
- World Health Organization. (2024, December 24), *WHO Diabetes Program* [Online]. Erişim: <https://www.who.int/health-topics/diabetes>.
- TAŞCI, M., & YILDIRIM, M. T. (2020). *UÇUŞ VERİLERİNİN KABA KÜME YÖNTEMİ KULLANILARAK İNDİRGENMESİ*. *Journal on Mathematic, Engineering and Natural Sciences (EJONS)*, 4(15), 625-637.

HAVA YOLU YOLCU TAŞIMACILIĞINDA BULANIK MANTIK İLE DİNAMİK FİYATLANDIRMA

Eren İsmail Doğan

Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilişim Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı.
eren.ismail.dogan@gmail.com

Mehmet Yıldırım

Kocaeli Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Bilişim Sistemleri Mühendisliği Bölümü.
myildirim@kocaeli.edu.tr, ORCID:0000-0003-1676-1560

Özet

Bu çalışmada, hava yolu yolcu taşımacılığında kullanılabilecek bir bulanık mantıklı dinamik bilet fiyatlandırma sistemi önerilmektedir. Dinamik fiyatlandırma sistemleri, hava yolu şirketlerinin etkin gelir yönetimi uygulamalarına olanak tanıyan stratejilerden biridir. Hava yolu taşımacılığındaki dinamik fiyatlandırma ve yapay zekâ uygulamaları, sektördeki rekabetin artırılmasına ve müşteri memnuniyetinin sağlanmasına önemli katkılar sağlamaktadır. Bu stratejiler, hem hava yolu şirketlerinin operasyonel verimliliğini artırmakta hem de yolcular için daha uygun fiyatlarla bilet satın alma fırsatları sunmaktadır. Literatürde, dinamik fiyatlandırma için yapay zeka yöntemlerinden makine öğrenmesi ve derin öğrenme gibi tekniklerin kullanıldığı görülmektedir. Bu yöntemlerin yoğun veri ihtiyacı ve her uçuş için ayrı ayrı eğitim yapılması gerekliliği başa çıkılması zor bir problem haline gelmektedir. Bu nedenle bu çalışmada, çok daha az veri ihtiyacı duyan ve daha çok kural tabanlı karar verme yeteneğine sahip bulanık mantıklı sistemlerin dinamik fiyatlandırmada daha faydalı olacağı düşünülmektedir. Bu amaçla çalışmada, hava yolu yolcu taşımacılığında kullanılabilecek bir bulanık mantıklı dinamik bilet fiyatlandırma sistemi tanıtılmaya çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bulanık mantık, Dinamik fiyatlandırma, Hava yolu taşımacılığı, Uçak bileti fiyatlandırması.

DYNAMIC PRICING WITH FUZZY LOGIC IN AIRLINE PASSENGER TRANSPORTATION

Abstract

In this study, a fuzzy logic dynamic ticket pricing system that can be used in airline passenger transportation is proposed. Dynamic pricing systems are one of the strategies that enable airline companies to implement effective revenue management applications. Dynamic pricing and artificial intelligence applications in airline transportation make significant contributions to increasing competition in the sector and ensuring customer satisfaction. These strategies both increase the operational efficiency of airline companies and offer opportunities for passengers to purchase tickets at more affordable prices. In the literature, it is seen that techniques such as machine learning and deep learning are used for dynamic pricing among artificial intelligence methods. The intensive data requirement of these methods and the need for separate training for each flight become a difficult problem to cope with. Therefore, in this study, it is thought that fuzzy logic systems that need much less data and have more rule-based decision-making ability will be more useful in dynamic pricing. For this purpose, a fuzzy logic dynamic ticket pricing system that can be used in airline passenger transportation is tried to be introduced in the study.

Keywords: Fuzzy logic, Dynamic pricing, Airline passenger transportation, Airline ticket pricing.

1. GİRİŞ

Günümüzde hava yolu taşımacılığı, küresel ekonominin önemli bir sektörü olmanın yanı sıra, zaman içinde önemli dönüşümler yaşamış ve gelişen teknoloji ile birlikte hızla evrim geçirmiştir. Hem ulusal hem de uluslararası düzeyde rekabetin giderek arttığı, yolcu taleplerinin daha karmaşık hale geldiği bir ortamda, hava yolu şirketleri gelir artırma ve maliyetleri yönetme açısından sürekli yenilikçi yöntemler

aramaktadır. Bu çerçevede, dinamik fiyatlandırma sistemleri, hava yolu şirketlerinin etkin bir gelir yönetimi uygulamalarına olanak tanıyan stratejilerden biridir.

Dinamik fiyatlandırma, uçuşlar için belirlenen bilet fiyatlarını, arz-talep dengesine, mevcut pazar koşullarına, hava yolu şirketinin rekabetçi durumu gibi faktörlere göre sürekli olarak güncelleyerek optimize etmeyi amaçlar. Bu esnek sistem, hem hava yolu şirketlerinin gelirlerini maksimize etmelerini sağlar hem de yolculara uygun fiyat seçenekleri sunar. Bu noktada, yapay zekânın devreye girmesi, hava yolu taşımacılığında fiyatlandırma süreçlerini dönüştürmek adına önemli bir gelişme yaratmıştır.

Birçok güncel araştırma, hava yolu endüstrisi için dinamik fiyatlandırma amacıyla tahmin modelleri geliştirmiştir. Makine öğrenimi modelleri, tahmin yapmak için çoklu belirleyicileri ve dışsal zaman serilerini modele girdi olarak kullanabilir. Papadakis (2012), dinamik fiyatlandırma için dikkate alınması gereken bazı özellikleri sıralamış, ancak yalnızca boş koltuk sayısını, rekabeti, kalkışa kalan gün sayısını, bilet fiyatlarındaki değişiklikleri ve dalgalanmaları göz önünde bulundurmıştır. McHugh (2018) ise uçuşun kalkış havaalanı, varış havaalanı, haftanın günü, yılın haftası, uçuş süresi ve kalkışa kalan gün sayısı gibi faktörleri modele dahil etmiştir. Varedi (2010), Kuzey Amerika hava yolu şirketinin verilerini kullanarak kalkış ve varış havaalanları, uçuş numarası, uçuş kalkış tarihi ve saati, uçak kapasitesi, günlük rezervasyon sayısı, iptaller ve düzenli müşteriler için yapılan rezervasyonlar gibi verileri incelemiştir. Tziridis ve ark. (2017), uçuş saati, varış saati, ücretsiz bagaj hakkı, kalkışa kalan gün sayısı, transfer sayısı, tatil günleri ve uçuşun gece olup olmadığı gibi parametreleri dikkate almıştır. Brons ve ark. (2002), yolcu taşımacılığı talebinin yanı sıra fiyat esnekliğini etkileyen çeşitli ekonomik, demografik ve coğrafi faktörleri ele almışlardır.

Yapay zekâ temelli uygulamalar, geleneksel fiyat belirleme yöntemlerinin ötesine geçerek, makine öğrenmesi algoritmaları ve analiz teknikleri ile çok daha doğru ve hızlı kararlar alınmasını mümkün kılmaktadır. Yapay zekânın sunduğu büyük veri analizi; geçmiş uçuş verilerini, yolcu davranışlarını, dönemsel talepleri, dışsal faktörleri ve piyasa koşullarındaki değişiklikleri dikkate alarak çok daha derinlemesine inceleyerek, dinamik fiyatların optimize edilmesine olanak tanımaktadır. Makine öğrenimi, özellikle büyük veri setlerini analiz ederken hava yolu şirketlerine önemli avantajlar sağlamaktadır. Bu süreç, şirketlere sadece anlık fiyat belirleme değil, aynı zamanda uzun vadeli stratejik kararlar alma imkânı da tanımaktadır.

Yapay zekâ destekli dinamik fiyatlandırma, sadece şirketlere gelir sağlama noktasında değil, müşteri deneyimi açısından da önemli faydalar sunmaktadır. Yapay zekâ algoritmaları, yolcuların alışkanlıklarını ve tercihlerine göre kişiselleştirilmiş teklifler oluşturulmasına imkân verir. Örneğin, sık seyahat eden müşterilere özel indirimler, belirli bir uçuş için daha erken rezervasyon yapanlara yönelik avantajlar sunulabilir. Ayrıca, fiyatların değişken olduğu bu sistemde, uygun fiyatla bilet satın almak isteyen yolcular için, talebin düşük olduğu dönemlerde cazip fırsatlar sunulabilir.

Ancak, bu sistemin etkili bir şekilde çalışabilmesi için bazı önemli engellerin aşılması gerekmektedir. Bu bağlamda, yapay zekâ destekli dinamik fiyatlandırma sistemlerinin uygulanması için hava yolu şirketlerinin teknolojinin kullanımı konusunda ciddi hazırlıklar yapması gerekmektedir. Makine öğrenmesinin ihtiyaç duyduğu yoğun veri ihtiyacı ve her uçuş için ayrı ayrı eğitim yapılması gerekliliği başa çıkılması zor bir problem haline gelmektedir. Bunun yerine bu çalışmada, daha az veri ihtiyacı duyan ve daha çok kural tabanlı karar verme yeteneğine sahip bulanık mantıklı sistemlerin dinamik fiyatlandırmada daha faydalı olacağı düşünülmektedir. Bu amaçla çalışmada, hava yolu yolcu taşımacılığında kullanılabilecek bir bulanık mantıklı dinamik fiyatlandırma sistemi tanıtılmaya çalışılmaktadır.

2. DİNAMİK FİYATLANDIRMA

Fiyat, insanlık tarihi boyunca hem bireyler hem de işletmeler için önemli bir konu olmuştur. Pazar ve pazar payını etkileyen önemli bir değişken olarak kabul edilen fiyat (Akca, 2007), bir ürün ya da hizmetten yararlanmak veya satın almak için ödenmesi gereken parasal değer şeklinde tanımlanabilir. Adam Smith'e göre fiyat, üretici, tüketici ve kaynak sahiplerini bir araya getiren ve kaynakların akılcı

ve verimli bir şekilde dağıtılmasını sağlayan bir “görünmez el” mekanizmasıdır (Gwartney ve Stroup, 2008). Adam Smith’in tanımının dışında, literatürdeki fiyat tanımlarının ortak noktası, fiyatın "parasal değer" olarak ifade edilmesidir. Bu, modern piyasa ekonomilerinde fiyatların para ile belirlenmesindendir (Kasapoğlu, 2007).

Fiyatlandırma, işletmelerin sundukları ürün ve hizmetlerin fiyatını belirleme sürecidir ve bu süreç, talep eden kişiler için şekillendirilir. Hizmet ve ürün sağlayıcıları, sektör bazındaki rekabet koşullarını ve piyasadaki genel dinamikleri göz önünde bulundurarak satış yapmayı hedeflerler (Colman, 2015).

Klasik ekonomi teorilerinde fiyatlandırma kararlarının en önemli amacı, en yüksek kârı elde etmektir (Cannon ve Morgan, 1990). Ancak, sadece kâr elde etme amacı dışında, işletmelerin tüketici memnuniyeti, uzun vadeli kârlılık, sosyal sorumluluk gibi farklı hedefleri de olabilir. Bu hedeflere sahip olmak, işletmelere gelecekteki beklentilerini anlamalarına ve operasyonel performanslarını nasıl ölçmeleri gerektiğine dair bir rehberlik sağlamaktadır (Tzokas ve ark., 2000).

Dinamik fiyatlandırma, bir ürün veya hizmetin fiyatının talep, zaman, pazar koşulları gibi faktörlere göre sürekli olarak değiştirildiği bir stratejidir (García-Calderón Chávez, 2017). Bu strateji, fiyatların sabit olmaktan ziyade talebin dinamik yapısına göre esnek bir şekilde ayarlanmasını sağlar. Son 20 yılda, talep tahminleme ve optimizasyon algoritmalarındaki gelişmelerle birlikte, dinamik fiyatlandırma özellikle hava yolu ve otel sektörlerinde yaygınlaşmıştır (Talluri ve Van Ryzin, 2006). Bu sektörlerde, yüksek talep dönemlerinde fiyatlar artırılırken, düşük talep sezonlarında fiyatlar düşürülerek toplam gelir artırılmaya çalışılır. Dinamik fiyatlandırma, özellikle rekabetin yoğun olduğu piyasalarda, işletmelerin gelirlerini artırmalarına yardımcı olabilir (6).

Fiyatlandırma kararları, bir firmanın karlılığı üzerinde büyük etki yapar. Doğru fiyatlandırma stratejileri, yatırım geri dönüşünü artırmanın yanı sıra müşteri kazanımını ve satış hacmini de artırabilir (Ng, 2008; Chenavaz vd., 2011). Başarılı fiyatlandırma için piyasa rekabeti, müşteri davranışları ve maliyet yapıları gibi veriler önemlidir.

Dinamik fiyatlandırma, fiyatların talep ve diğer faktörlere göre esnek bir şekilde ayarlandığı bir stratejidir. İnternet ve teknoloji sayesinde, bu strateji daha yaygın hale gelmiştir. Dinamik fiyatlandırma, özellikle sınırlı envanterli ve talebi dalgalanan ürünlerde avantaj sağlar (Elmaghraby ve Keskinocak, 2003; Sibdari, 2005). Bu yaklaşım, ürün fiyatlarının zaman içinde veya coğrafi bölgelere göre değişebilmesini ifade eder. Farklı müşteri gruplarına yönelik değişen fiyat uygulamalarını kapsar.

Dinamik fiyatlandırma, işletmelerin talep ve müşteri profillerine göre fiyatları sürekli olarak optimize etmelerini sağlar. Özellikle talep dalgalanmaları ve sınırlı envanter durumlarında etkili olan bu strateji, hava yolu sektöründe sıkça kullanılır. Örneğin, uçuş zamanı yaklaştıkça ve boş koltuklar kaldıkça, fiyatlar düşürülüp promosyonlar sunularak gelir artırılabilir. Bu yaklaşım, sınırlı ürünlerin (örneğin uçak koltukları) satılmaması durumunda gelir kaybını engeller.

Dinamik fiyatlandırmanın avantajları arasında satışların artırılması ve gelir maksimize edilmesi, envanter yönetimi, pazar rekabetine ayak uydurma ve tüketici bilgilerini analiz etme yer almaktadır. Talep artışlarını hedefleyerek fiyatları esnek bir şekilde ayarlamak, satışları canlandırır ve kârı artırır (Korkmaz vd., 2009). Fazla envanteri hızla satmak için fiyat değişiklikleri yapılabilir ve rekabet avantajı elde edilebilir. Ayrıca, müşteri verilerini analiz ederek fiyat esnekliği ve optimum piyasa değeri belirlenebilir. Bununla birlikte, dinamik fiyatlandırmanın dezavantajları da bulunmaktadır. Dinamik fiyatlandırma, güçlü bilişim altyapıları ve yazılım sistemleri gerektirir. Bu altyapılar, yüksek yatırım maliyetlerine yol açabilir ve uzman personel istihdamı ek maliyetler yaratabilir.

3. HAVA YOLU TAŞIMACILIĞI

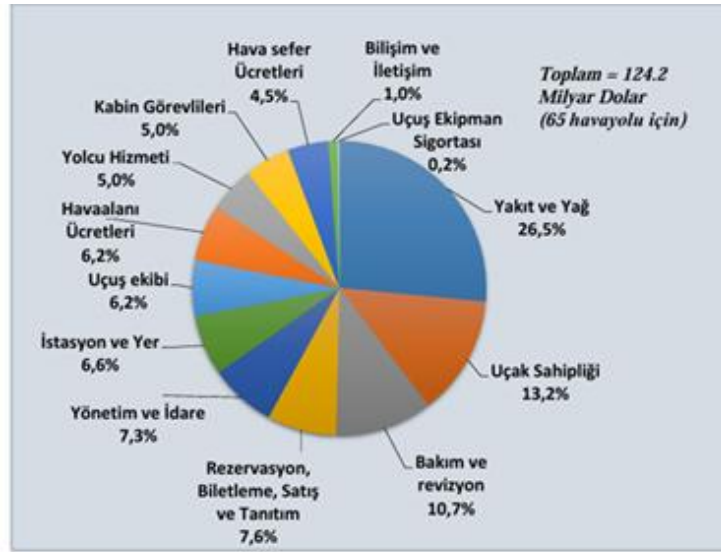
Hava yolu endüstrisi, küresel düzeyde büyük ekonomik öneme sahip bir sektördür, aynı zamanda yüksek rekabetin yaşandığı bir hizmet alanıdır. Bu tür zorlu rekabet koşullarının hüküm sürdüğü bir iş ortamında, işletmelerin ayakta kalabilmeleri için en önemli unsurlardan biri, sürdürülebilir bir rekabet

avantajına sahip olmaktır. Rekabet avantajı, bir işletmenin, müşterilerine rakiplerine göre kendine has ve değerli faydalar sunarak, farklılaşmasını ve bu farklılıkla pazarda güçlü bir yer edinmesini sağlar.

Bilet fiyatlarını etkileyen pek çok değişken bulunmaktadır ve bu faktörlerden en önemlisi uçuş maliyeti olarak öne çıkmaktadır. Uçuş bileti fiyatı, talep ve diğer ilgili faktörlerin yanı sıra her gün değişebilen dinamik bir yapıya sahiptir. Bu değişkenler arasında yakıt maliyeti, en temel maliyet bileşeni olarak öne çıkmaktadır. Bunun yanı sıra, rekabet durumu, uçuş mesafesi, uçuş saati, biletin alım zamanı, talep yoğunluğu, boş koltuk sayısı, vergi yükleri ve ikram hizmetleri gibi birçok faktör de bilet fiyatlarını etkileyen unsurlar arasında yer almaktadır.

Hava yolu taşımacılığı, yüksek sabit ve değişken maliyetlerle karakterizedir. Sabit maliyetler, uçak alımı, bakım, personel giderleri gibi unsurları kapsarken; değişken maliyetler, yakıt, bilet satış komisyonları, havalimanı ücretleri gibi faktörleri içerir. Ekonomik krizler, petrol fiyatlarındaki dalgalanmalar ve döviz kuru değişimleri gibi dışsal faktörler de maliyetleri etkileyebilir. Bu nedenle, hava yolu işletmeleri maliyet yönetimini dikkatli bir şekilde yaparak, sürdürülebilirliği sağlamak zorundadır.

Hava yolu sektöründeki işletmelerin maliyet yapıları, çeşitli faktörlere bağlı olarak büyük ölçüde değişkenlik gösterir. Bu durum, sektörün dinamik yapısının bir sonucu olarak, hava yolu işletmelerinin maliyetlerini sürekli olarak izlemelerini ve yönetmelerini gerektirir. Hava yolu işletmelerinin maliyet yapılarını oluşturan değişkenler ve bu değişkenlerin oransal dağılımı, Hava yolu Maliyet Yönetimi Grubu (Airline Cost Management Group – ACMG) 2015 yılı raporunda Şekil 1’deki gibi belirtilmiştir:



Kaynak: IATA Airline Cost Management Group (ACMG) Instructions Manual FY2016,

Şekil 1. Hava yolu maliyet yapısı.

Maliyet, "Hedeflenen sonuca ulaşmak için katlanılması gereken fedakârlıkların para ile ölçülebilen tutarı" olarak tanımlanmaktadır (Büyükmirza, 2009). Bu tanımdan yola çıkarak, "hava yolu maliyetlerini, hava yolu hizmetinin sağlanabilmesi için yapılan harcamaların para birimiyle ölçülen karşılığı olarak tanımlanabilir. Hava yolu sektörü, sunduğu hizmetler nedeniyle birçok farklı maliyet kalemiyle karşı karşıyadır. Bu maliyetler, hava yolu şirketlerinin operasyonel süreçlerini etkileyen önemli faktörlerdir" (Macit, 2020).

Uçuşu gerçekleştirmek için yolcu sayısından bağımsız olarak katlanılan maliyetlerdir. Değişken maliyetler ise her bir yolcu için sabit maliyet üzerine eklenen maliyettir. Bu nedenle, bir uçuşun maliyetinin hesaplanabilmesi için yolcu sayısının bilinmesi önemlidir. "Hava yolu işletmelerinin sabit maliyetlerinin değişken maliyetlere göre yüksek olması sabit maliyetlerin yolculara yansımada, yolcu

sayısı arttıkça birim maliyetin düşmesine sebep olmaktadır. Böylelikle uçak doluluk oranlarının maliyet ve dolayısı ile kârlılık üzerindeki etkisi açıkça görülmektedir” (Macit, 2020).

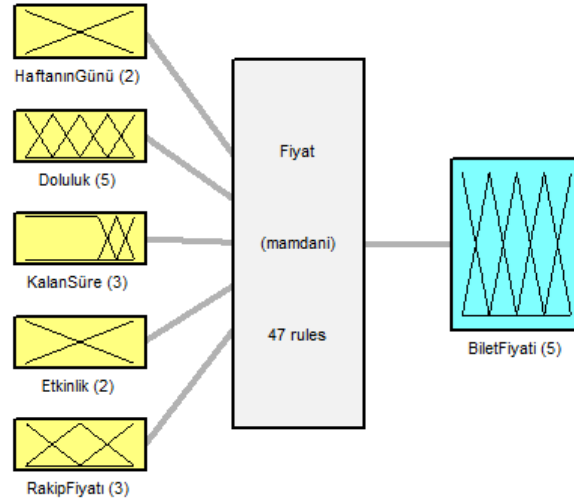
Havayollarının fiyat ayarlama stratejileri, genellikle sabit koltuk envanterine dayalı olarak şekillenir. Varedi (2010), yolcu talebini tahmin etmenin zor olduğunu, bunun sebebinin müşterilerin tercihleri hakkında eldeki bilgilerin sınırlı olması ve iş ortamındaki hızlı değişim olduğunu vurgulamıştır. Chiou ve Liu (2016), uçak yolcularının bilet satın alma davranışlarını incelemiş ve bu davranışların havayollarının dinamik fiyatlandırma stratejileriyle değişebileceğini belirtmişlerdir.

4. BULANIK MANTIK İLE DİNAMİK BİLET FİYATI BELİRLEME

İnsanlar, çoğunlukla kesin olmayan ya da belirsiz verilerle kararlar verirken, dilsel terimler kullanarak sonuca varırlar. Bulanık mantık sistemleri de bu prensibe dayanarak, doğru kararlar almak için, eksik bilgi içeren, insan davranışları gibi klasik mantıkla çözilemeyen, matematiksel olarak modellenemeyen problemler için çözümler sunabilen bir yaklaşımdır. Bu yöntem, endüstriyel süreçler, üretim hatları ve performans sistemleri gibi birçok alanda düşük maliyetli, esnek, anlaşılır ve pratik çözümler sağlayabilmektedir. Ancak, bu tür çözümler için tüm sistemlerin ve süreçlerin her yönüyle bilinmesi ve tam veriye sahip olunması gerekir; ancak çoğu zaman bu gerçekleşmez. Dolayısıyla, bulanık mantık eksik, belirsiz, yaklaşık veya tam olarak tanımlanamayan verilere sahip sistemlerde büyük bir avantaj sağlamaktadır. Bu sayede, kesin ve tam olmayan verilerle doğru ve tutarlı kararlar almak mümkün hale gelmektedir.

Bulanık mantık, son yıllarda çok geniş bir uygulama alanı bulmuş ve bu kullanım oranı giderek artan bir hızla tercih edilmektedir. Zadeh’in bulanık küme teorisini ilk kez 1965 yılında ortaya koymasının ardından, bu yaklaşım çeşitli sektörlerde hızla benimsenmiş ve geliştirilmiştir.

Şekil 2’de, hava yolu şirketleri için dinamik bilet fiyatı belirlemede kullanılabilecek bir bulanık mantık sistemi önerimizin temel yapısı gösterilmektedir. Bu sistem üç ana bileşenden oluşmaktadır: bulanıklaştırıcı birim, kural tabanlı çıkarım birimi ve durulandırıcı birim şeklindedir.



Şekil 2. Dinamik bilet fiyatı belirlemek için önerilen bulanık sistem yapısı.

4.1. Bulanıklaştırıcı Birim

Bulanıklaştırıcı birim girilen sayısal verileri bulanık değerlere dönüştürür. Bu dönüşüm, sistemin dilsel değişkenlerle çalışabilmesi için gereklidir. Bu işlemde kullanılan bulanık kümeler her dilsel terime ait bir üyelik fonksiyonu ile temsil edilir. Üyelik fonksiyonları, belirli bir değerin, bu dilsel kategorilere ne kadar ait olduğunu belirler ve böylece sistemin, kesin olmayan ya da belirsiz bilgileri işleyebilmesini sağlar.

Birçok hava yolu şirketinde koltuk fiyatı sabit olmayıp, yolcu talebine dayalı olarak bazı günlerde pahalı bazı günlerde de daha ucuz fiyatlar sunulma eğilimi vardır. Bu eğilim, tamamen gelir yönetimi sistemi

(revenue management) kapsamında, geçmiş veriler ve anlık talepler doğrultusunda dinamik olarak belirlenmektedir. Uçak bilet fiyatlarını belirleyen temel unsurlara aşağıda yer verilmektedir:

4.1.1. Talep ve arz dengesi

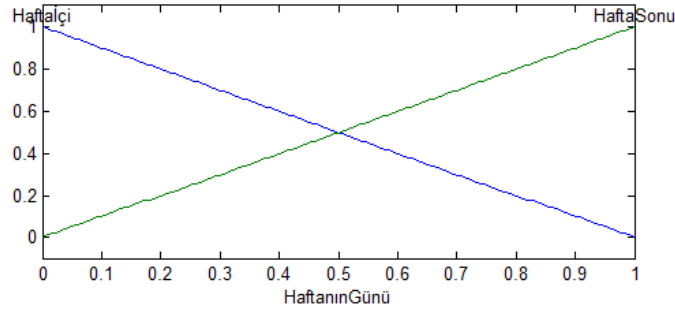
En temel faktörlerden biri talep ve arz dengesidir. Talep yüksek, arz düşük olduğunda bilet fiyatları artar. Bu durum özellikle aşağıdaki dönemlerde gözlemlenir:

- Hafta sonları,
- Bayramlar, resmi tatiller,
- Okul tatilleri (yarıyıl ve yaz tatili),
- Yaz sezonu (turistik bölgeler için),
- Büyük etkinliklerin olduğu zamanlar (fuarlar, konserler, spor müsabakaları),

Büyük hava yolu şirketleri, talep artışlarını önceden tahmin edebilmek için yapay zekâ destekli tahminleme sistemleri kullanabilmektedir. Ancak bunu, her destinasyon ve uçuş için yapmak oldukça zahmetli ve maliyetli bir iştir. Bilet fiyatlandırmasında günlere göre genel eğilimler şöyledir:

Hafta içi; Salı, Çarşamba ve Perşembe günleri fiyatlandırma algoritmalarında genellikle daha düşük talep görülen günler olarak tanımlanır. Bu günlerde uçuş doluluk oranı daha düşüktür; bu nedenle sistem, boş koltukların satılmasını teşvik etmek amacıyla daha rekabetçi ve düşük fiyatlar sunabilir. Özellikle iç hat uçuşlarında bu durum daha net görülür. Salı sabahları, sektörde genel olarak promosyonların açıklandığı ve sistemsel fiyat güncellemelerinin yapıldığı bir zaman dilimidir. Hava yolu şirketleri bazı kampanyalarını Salı ya da Çarşamba başlatmayı tercih edebilmektedir.

Hafta sonu; Cuma, Cumartesi sabahı ve Pazar akşamı hem iç hem de dış hatlarda yüksek talep günleri olarak öne çıkar. Bu günlerde daha az promosyon uygulanır ve bilet fiyatları genellikle daha yüksek fiyatlı olur. Özellikle hafta sonu gezileri, iş dönüşleri ve tatil seyahatleri nedeniyle Pazar akşamı uçuşlarında ciddi bir fiyat artışı gözlemlenebilir. Haftanın gününü sisteme girmek için kullanılan bulanıklaştırıcı üyelik fonksiyonu Şekil 3'te gösterilmektedir.



Şekil 3. Haftanın gününü gösteren bulanıklaştırıcı üyelik fonksiyonu.

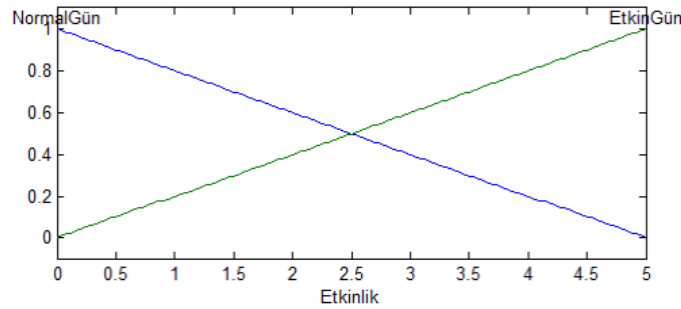
Bayramlar ve resmi tatillerde, bu günlerin bir-iki gün öncesi ve sonrasında da talep yoğunluğu yaşanmaktadır ve bu günlerde koltuk fiyatları artmaktadır.

Okul tatillerinin, yarıyıl ve yaz tatillerinin başlangıcında ve bitiminde talep artmaktadır. Yurtdışından ülkemize eğitim için gelen yabancılar veya yurtdışına eğitim için giden vatandaşlarımız dış hatlarda talep artışına neden olmaktadır. Ülkelere ve destinasyona göre eğitim dönemi tarihleri değişebilmektedir. İç hatlarda ise o şehirde bulunan Yükseköğretim Kurumlarının açılış kapanış tarihleri farklılık göstermekle birlikte, ilk ve ortaöğretim kurumlarının tarihleri aynıdır.

Yaz sezonunda turistik bölgeler için genel olarak talep yoğunluğu yaşanmaktadır. Konaklama tesislerinin yoğun olduğu bölgelerde, haftanın her günü check-in veya check-out yapılabildiği için sezon boyunca haftanın gününden bağımsız olarak yoğunluk yaşanmaktadır.

Bazı destinasyonlara, büyük etkinliklerin olduğu zamanlarda (fuarlar, konserler, Dünya veya Avrupa şampiyonaları gibi spor müsabakaları vs.), talep artmaktadır. Etkinliğin uzunluğuna göre, öncesi ve sonrasındaki zaman dilimi de talebin yoğun olduğu dönemler olabilmektedir. Umre ve Hac dönemlerinde Suudi Arabistan biletleri astronomik fiyatlara ulaşabilir. Yaz aylarında Avrupa'dan Türkiye'ye dönüş biletleri daha pahalı iken kış aylarında Türkiye'den Avrupa'ya gidiş biletleri artar.

Uygulamamızda, tüm bu yüksek talep gören günler “Etkinlik” adı altında birleştirilmiş olup, uçuş gününün herhangi bir etkinlik zamanına, hemen öncesi veya hemen sonrasına denk gelmesi durumunda, bu bilginin sisteme girilebilmesi için kullanılan bulanıklaştırıcı üyelik fonksiyonu Şekil 4'te gösterilmektedir. Uçuş günü etkinlik tarihinde ise 5, etkinlik tarihi öncesi veya sonrası ise 0-5 arasında uygun bir gün seçilmelidir. Uygulamada etkinlik öncesi veya sonrası talep gören beş gün seçilmiş olsa da etkinliğin türüne göre bu süre kısaltılıp uzatılabilir.



Şekil 4. Uçuş gününün önemini gösteren bulanıklaştırıcı üyelik fonksiyonu.

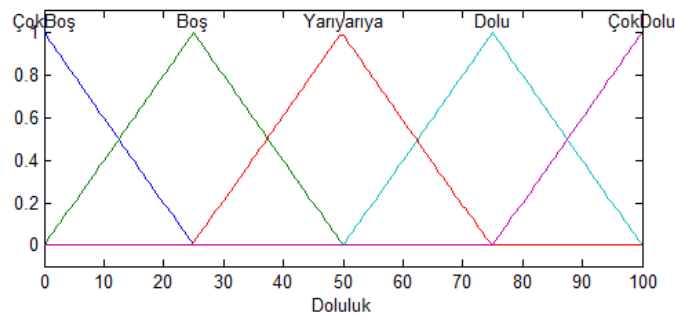
4.1.2. Dinamik fiyatlandırma

Hava yolu şirketleri genelde sabit bir fiyat politikası uygulamazlar. Bunun yerine dinamik fiyatlandırma modeli uygular. Bu modelde:

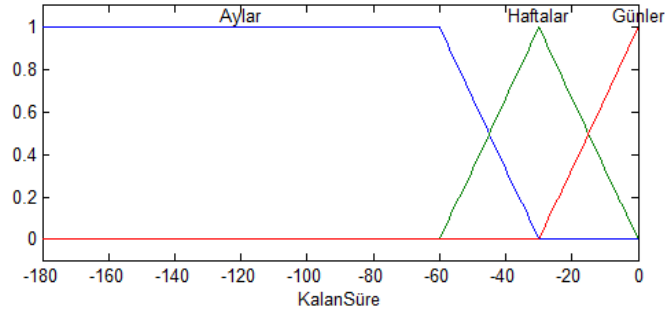
- Uçağın doluluk oranı,
- Kalkış tarihine kalan süre,

dikkate alınarak fiyatlar sürekli güncellenir.

Örneğin: kalkış tarihine 2 ay varken bir bilet 1200 TL olabilirken, aynı bilet kalkışa 3 gün kala 3000 TL'ye kadar çıkabilir. Uygulamamızda, uçağın doluluk oranını gösteren bulanıklaştırıcı üyelik fonksiyonu Şekil 5'te gösterilmektedir. Doluluk oranı (%) olarak girilmektedir ve bu oran arttıkça bilet fiyatları da yükseltilmektedir. Uçağın kalkış tarihine kalan süreyi gösteren bulanıklaştırıcı üyelik fonksiyonu Şekil 6'da gösterilmektedir. Kalan süre uygulamamızda gün olarak -180'den başlatılmış olup uçuş günü için 0 girilmektedir. Süre azaldıkça ve bununla beraber doluluk da arttıkça fiyat yükseltilmektedir. Süre azalmasına rağmen doluluk artmıyor ise fiyat düşürülmektedir.



Şekil 5. Uçağın doluluk oranını gösteren bulanıklaştırıcı üyelik fonksiyonu.



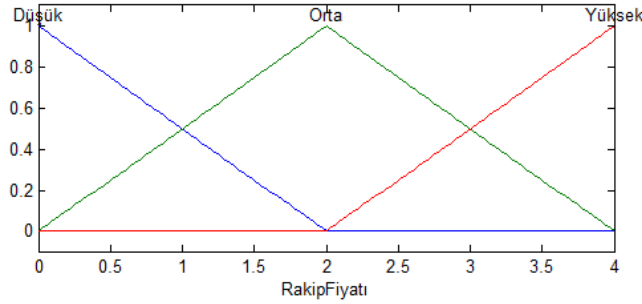
Şekil 6. Uçağın kalkış tarihine kalan süreyi gösteren bulanıklaştırıcı üyelik fonksiyonu.

4.1.3. Rekabet koşulları

Bilet fiyatlarının belirlenmesinde rakip hava yollarının fiyatları da önemli bir etkidir. Örneğin; İstanbul çıkışlı destinasyonlarda:

- Pegasus, SunExpress gibi düşük maliyetli firmalar,
- Yabancı hava yolları (Lufthansa, Qatar Airways, Emirates vs.)

ile rekabet durumuna göre, THY kendi fiyatlarını aşağı ya da yukarı çekebilir. Uygulamamızda rakip firmaların fiyat bilgisini gösteren bulanıklaştırıcı üyelik fonksiyonu Şekil 7'de gösterilmektedir. Şekilde fiyat bilgisinin sayısal değeri 0 ile 4 arasında değişmektedir. Burada girilecek olan değer fiyat değeri olmayıp fiyatı belirleyen bir katsayı değeridir.

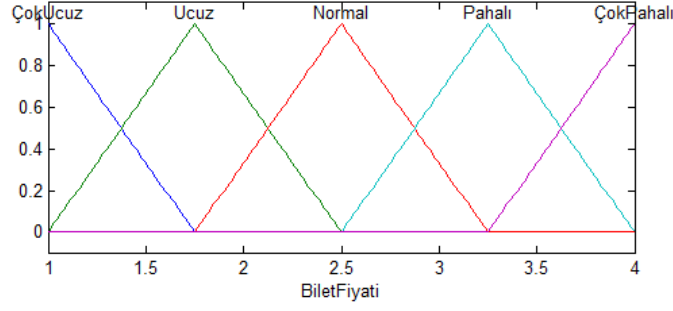


Şekil 7. Rakip firmaların fiyatlarını gösteren bulanıklaştırıcı üyelik fonksiyonu.

4.2. Durulandırıcı Birim

Durulandırıcı birim, çıkarım mekanizması ile elde edilen bulanık çıkış kümelerini sayısal değerlere dönüştürür. Sonuçta, sistemin çıkışı bir sayısal değer olarak elde edilir, bu da gerçek dünyada uygulanabilir bir karar ya da aksiyon anlamına gelir.

Uygulamamızda, uçak bileti bilgisini gösteren durulandırıcı üyelik fonksiyonu Şekil 8'de gösterilmektedir. Şekilde fiyat bilgisinin sayısal değeri 0 ile 4 arasında değişmektedir. Burada girilecek olan değer fiyat değeri olmayıp fiyatı belirleyen bir katsayı değeridir. Fiyat belirlenir iken, firmalar genellikle sabit ve değişken giderlerin yer aldığı hesaplama yoluyla önce maliyeti belirlerler, sonra kar beklentisi, arz-talep dengesi ve diğer parametrelere göre bir katsayı belirlenir, bu katsayı ile maliyetin çarpımından bilet fiyatı belirlenir.



Şekil 8. Bilet fiyatını gösteren durulandırıcı üyelik fonksiyonu.

4.3. Çıkarım Birimi

Kural tabanlı çıkarım mekanizmasında; bulanıklaştırıcı birimden gelen bulanık giriş verilerini kullanarak sistemin kural tabanı üzerinden çıkarımlar yapar. Kural tabanı, genellikle EĞER-İSE biçiminde ifade edilen dilsel kurallar içerir. Çıkarım mekanizması, bu tür kurallar aracılığıyla, girişlerdeki bulanık değer kümeleri ile çıkış bulanık değer kümeleri arasında mantıksal bir ilişki kurar ve böylece belirsizlik durumunda doğru bir karar verilmesine yardımcı olur. Dinamik bilet fiyatı belirlemek için kullandığımız kurallar aşağıda gösterilmektedir. Kurallar oluşturulur iken uygulanan genel prensipler şunlardır: doluluk oranlarına bağlı olarak etkinlik günlerinde fiyatlar normal günlere nispeten daha yüksek tutulur, uçuşa kalan süreye bağlı olarak rakip firma fiyatlarına paralel fiyat belirlenir, hafta sonu fiyatları hafta içi fiyatlardan daha yüksektir, uçuşa kalan süre yaklaştıkça ve doluluk arttıkça fiyat yükselir, süre azaldıkça doluluk artmıyor ise fiyat düşürülür.

1. If (Doluluk is ÇokBoş) and (Etkinlik is NormalGün) then (BiletFiyati is ÇokUcuz) (1)
2. If (Doluluk is Boş) and (Etkinlik is NormalGün) then (BiletFiyati is Ucuz) (1)
3. If (Doluluk is Yarıyariya) and (Etkinlik is NormalGün) then (BiletFiyati is Normal) (1)
4. If (Doluluk is Dolu) and (Etkinlik is NormalGün) then (BiletFiyati is Pahalı) (1)
5. If (Doluluk is ÇokDolu) and (Etkinlik is NormalGün) then (BiletFiyati is ÇokPahalı) (1)
6. If (Doluluk is ÇokBoş) and (Etkinlik is EtkinGün) then (BiletFiyati is Pahalı) (1)
7. If (Doluluk is Boş) and (Etkinlik is EtkinGün) then (BiletFiyati is Pahalı) (1)
8. If (Doluluk is Yarıyariya) and (Etkinlik is EtkinGün) then (BiletFiyati is ÇokPahalı) (1)
9. If (Doluluk is Dolu) and (Etkinlik is EtkinGün) then (BiletFiyati is ÇokPahalı) (1)
10. If (Doluluk is ÇokDolu) and (Etkinlik is EtkinGün) then (BiletFiyati is ÇokPahalı) (1)
11. If (KalanSüre is Aylar) and (RakipFiyati is Düşük) then (BiletFiyati is ÇokUcuz) (1)
12. If (KalanSüre is Haftalar) and (RakipFiyati is Düşük) then (BiletFiyati is Ucuz) (1)
13. If (KalanSüre is Günler) and (RakipFiyati is Düşük) then (BiletFiyati is Ucuz) (1)
14. If (KalanSüre is Aylar) and (RakipFiyati is Orta) then (BiletFiyati is Ucuz) (1)
15. If (KalanSüre is Haftalar) and (RakipFiyati is Orta) then (BiletFiyati is Normal) (1)
16. If (KalanSüre is Günler) and (RakipFiyati is Orta) then (BiletFiyati is Normal) (1)
17. If (KalanSüre is Aylar) and (RakipFiyati is Yüksek) then (BiletFiyati is Normal) (1)
18. If (KalanSüre is Haftalar) and (RakipFiyati is Yüksek) then (BiletFiyati is Pahalı) (1)
19. If (KalanSüre is Günler) and (RakipFiyati is Yüksek) then (BiletFiyati is ÇokPahalı) (1)
20. If (HaftanınGünü is Haftaİçı) and (Doluluk is ÇokBoş) and (KalanSüre is Aylar) then (BiletFiyati is ÇokUcuz) (1)
21. If (HaftanınGünü is HaftaSonu) and (Doluluk is ÇokBoş) and (KalanSüre is Aylar) then (BiletFiyati is Ucuz) (1)
22. If (HaftanınGünü is Haftaİçı) and (Doluluk is Boş) and (KalanSüre is Aylar) then (BiletFiyati is Ucuz) (1)
23. If (HaftanınGünü is HaftaSonu) and (Doluluk is Boş) and (KalanSüre is Aylar) then (BiletFiyati is Normal) (1)
24. If (HaftanınGünü is Haftaİçı) and (Doluluk is Yarıyariya) and (KalanSüre is Aylar) then (BiletFiyati is Normal) (1)
25. If (HaftanınGünü is HaftaSonu) and (Doluluk is Yarıyariya) and (KalanSüre is Aylar) then (BiletFiyati is Pahalı) (1)
26. If (HaftanınGünü is Haftaİçı) and (Doluluk is Dolu) and (KalanSüre is Aylar) then (BiletFiyati is Pahalı) (1)
27. If (HaftanınGünü is HaftaSonu) and (Doluluk is Dolu) and (KalanSüre is Aylar) then (BiletFiyati is ÇokPahalı) (1)
28. If (HaftanınGünü is Haftaİçı) and (Doluluk is ÇokDolu) and (KalanSüre is Aylar) then (BiletFiyati is ÇokPahalı) (1)
29. If (HaftanınGünü is HaftaSonu) and (Doluluk is ÇokDolu) and (KalanSüre is Aylar) then (BiletFiyati is ÇokPahalı) (1)
30. If (HaftanınGünü is Haftaİçı) and (Doluluk is ÇokBoş) and (KalanSüre is Haftalar) then (BiletFiyati is ÇokUcuz) (1)
31. If (HaftanınGünü is HaftaSonu) and (Doluluk is ÇokBoş) and (KalanSüre is Haftalar) then (BiletFiyati is Ucuz) (1)
32. If (HaftanınGünü is Haftaİçı) and (Doluluk is Boş) and (KalanSüre is Haftalar) then (BiletFiyati is ÇokUcuz) (1)
33. If (HaftanınGünü is HaftaSonu) and (Doluluk is Boş) and (KalanSüre is Haftalar) then (BiletFiyati is Ucuz) (1)
34. If (HaftanınGünü is Haftaİçı) and (Doluluk is Yarıyariya) and (KalanSüre is Haftalar) then (BiletFiyati is Ucuz) (1)
35. If (HaftanınGünü is HaftaSonu) and (Doluluk is Yarıyariya) and (KalanSüre is Haftalar) then (BiletFiyati is Normal) (1)
36. If (HaftanınGünü is Haftaİçı) and (Doluluk is Dolu) and (KalanSüre is Haftalar) then (BiletFiyati is Pahalı) (1)
37. If (HaftanınGünü is HaftaSonu) and (Doluluk is Dolu) and (KalanSüre is Haftalar) then (BiletFiyati is ÇokPahalı) (1)
38. If (HaftanınGünü is Haftaİçı) and (Doluluk is ÇokBoş) and (KalanSüre is Günler) then (BiletFiyati is ÇokUcuz) (1)
39. If (HaftanınGünü is HaftaSonu) and (Doluluk is ÇokBoş) and (KalanSüre is Günler) then (BiletFiyati is Ucuz) (1)
40. If (HaftanınGünü is Haftaİçı) and (Doluluk is Boş) and (KalanSüre is Günler) then (BiletFiyati is ÇokUcuz) (1)
41. If (HaftanınGünü is HaftaSonu) and (Doluluk is Boş) and (KalanSüre is Günler) then (BiletFiyati is Ucuz) (1)
42. If (HaftanınGünü is Haftaİçı) and (Doluluk is Yarıyariya) and (KalanSüre is Günler) then (BiletFiyati is Ucuz) (1)
43. If (HaftanınGünü is HaftaSonu) and (Doluluk is Yarıyariya) and (KalanSüre is Günler) then (BiletFiyati is Normal) (1)
44. If (HaftanınGünü is Haftaİçı) and (Doluluk is Dolu) and (KalanSüre is Günler) then (BiletFiyati is Pahalı) (1)
45. If (HaftanınGünü is HaftaSonu) and (Doluluk is Dolu) and (KalanSüre is Günler) then (BiletFiyati is ÇokPahalı) (1)
46. If (HaftanınGünü is Haftaİçı) and (Doluluk is ÇokDolu) and (KalanSüre is Günler) then (BiletFiyati is ÇokPahalı) (1)
47. If (HaftanınGünü is HaftaSonu) and (Doluluk is ÇokDolu) and (KalanSüre is Günler) then (BiletFiyati is ÇokPahalı) (1)

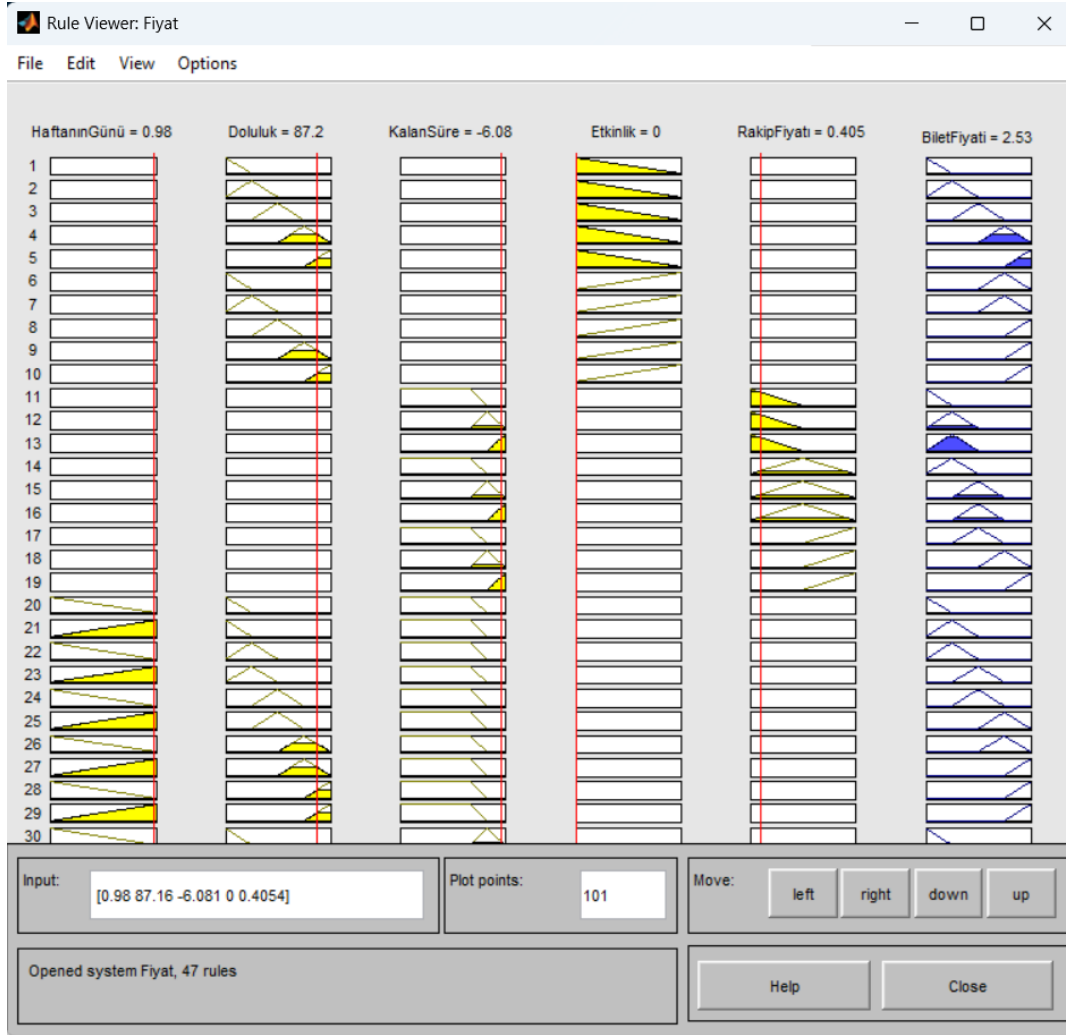
Şekil 9. Dinamik bilet fiyatı belirlemede kullanılan kurallar.

Sisteme veri olarak girilen; uçuşa 6 gün kala, herhangi bir etkinliğin olmadığı hafta sonu uçuşunda, rakip fiyatın oldukça düşük olmasına rağmen, doluluk oranının yüksek olmasından dolayı bilet fiyatının 2,53 katsayı ile belirlendiği örnek bir sonuç Şekil 10'da gösterilmektedir. Bu katsayı ile koltuk başına maliyetin çarpımı sonucunda bilet fiyatı anlık olarak dinamik bir şekilde belirlenmektedir. Uygulamamızda seçilmiş olan 0-4 aralığı firmanın kar beklentisine göre artırıp azaltılabilir.

5. SONUÇ

Çalışmamızda, hava yolu yolcu taşımacılığında kullanmak üzere dinamik bir bilet fiyatlandırma sistemi önerilmiştir. Yöntem olarak, literatürde sıklıkla rastlanan makine öğrenmesi veya derin öğrenme gibi yapay zekâ teknikleri yerine, çok daha az veri ihtiyacı duyan ve daha çok kural tabanlı karar verme yeteneğine sahip bulanık mantık kullanılmıştır. Böylelikle, her destinasyon ve uçuş tarihi için ayrı eğitim yapılması ve veri gerekliliği ortadan kaldırılmıştır. Önerdiğimiz dinamik fiyatlandırma sisteminde; uçuşun haftanın hangi gününde olduğu, uçuş gününün bayram, tatil, festival, konser, spor müsabakaları gibi önemli günlerde, öncesinde veya sonrasında olup olmadığı, uçağın doluluk oranı, uçuşa kalan süre ve rakip firmaların aynı destinasyona aynı tarihte belirlediği fiyat bilgileri dikkate alınarak belirlenmektedir. Geliştirilen yöntem ile hava yolu şirketlerinin etkin gelir yönetimi uygulamalarına olanak tanıyarak, sektördeki rekabetin artırılmasına ve müşteri memnuniyetinin

sağlanmasına önemli katkılar sağlanacağı düşünülmektedir. Hem hava yolu şirketlerinin operasyonel verimliliğini artırmakta hem de yolcular için daha uygun fiyatlarla bilet satın alma fırsatları sunmaktadır.



Şekil 10. Örnek koşullar altında bir bilet fiyatının belirlenmesi.

KAYNAKLAR

- AKCA, N. (2007), Sağlık Hizmetlerinde Fiyatlandırma ve Hastane Hizmetlerinde Maliyete Dayalı Fiyatlandırma Modeline İlişkin Bir Örnek Uygulama, *Doktora Tezi*, Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- BRONS, M., PELS, E., NIJKAMP, P., RIETVELD, P. (2002), Price elasticities of demand for passenger air travel: a meta-analysis, *Journal of Air Transport Management*, 8, 165–175.
- BÜYÜKMİRZA, K. (2009), *Maliyet ve Yönetim Muhasebesi*, Ankara: Gazi Kitabevi.
- CANNON, H.M., MORGAN W.F. (1990), A Strategic Pricing Framework, *The Journal of Services Marketing*, 4, 19-20.
- CHENAVAZ, R., CARRIER, L.P., ETIENNE, L. ve PARASCHIV, C. (2011), Dynamic Pricing in Management Science, *Journal of Economics Studies and Research*, 2011, 1-16.
- CHIOU, Y.C., LIU, C.H. (2016), Advance purchase behaviors of air passengers: A continuous logit model, *Transportation Research*, 93, 474–484.
- COLMAN, P. (2015), Neo pricing strategies under business economics, *Scholedge International Journal of Management & Development*, 2 (3), 18-24.
- ELMAGHRABY, W., KESKINOCAK, P. (2003), Dynamic Pricing in the Presence of Inventory Considerations: Research Overview, Current Practices and Future Directions. *Management Science*, 49(10), 1287-1309.
- GARCIA-CALDERON CHAVEZ, S.A. (2017), Pricing recommendation by applying statistical modeling techniques, *Master's thesis*, Universitat Politècnica de Catalunya.

- GWARTNEY, J.D., STROUP, R.L. (2008). *Temel Ekonomi*. (Çev: Y. Arslan), Ankara: Adres Yayınları.
- KASAPÖĞLU, V. (2007), Maliyet Temeline Dayalı Fiyatlandırma Yöntemleri. *Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sakarya.
- KORKMAZ, S., ESER, Z., ÖZTURK, S.A., (2009), *Pazarlama: Kavramlar-İlkeler-Kararlar*, Ankara: Siyasal Kitabevi.
- MACİT, A. (2020), Hava yolu İşletmelerinde Birim Maliyet ile Fiyatlandırma Yaparak Sadık Müşteri Yaratma: İş Amaçlı Seyahat Eden Yolculara Yönelik Bir Strateji Önerisi, *ODTÜ Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi*, 10 (3), 931-940.
- MCHUGH, K. (2018), Pricingnet: Modelling The Global Airline Industry With Neural Networks, 02.05.2025 tarihinde <https://medium.com/hackernoon/pricingnet-modelling-the-global-airline-industry-with-neural-networks-833844d20ea6> sitesinden alındı
- NG, I.C.L. (2008), *The Pricing and Revenue Management of Services-A Strategic Approach*. New York: *Routledge Advances in Management & Business Studies*.
- PAPADAKIS, V., THANOS, I.C. (2012), *Unbundling Acquisition Performance: How Do They Perform And How Can This Be Measured?*, Handbook Of Mergers And Acquisitions, Oxford University Press.
- SIBDARI, S.Y. (2005), *Essays in Revenue Management and Dynamic Pricing*. *Doktora Tezi*, Faculty of Virginia Polytechnic Institute and State University, Virginia, Blacksburg.
- TALLURI, K.T., VAN RYZIN, G.J. (2006), *The theory and practice of revenue management*, Cilt.68, Boston: Springer Science & Business Media, ISBN: 1-4020-7933-8.
- TZIRIDIS, K., KALAMPOKAS, T., PAPAKOSTAS, G.A., DIAMANTARAS, K.I. (2017), Airfare Prices Prediction Using Machine Learning Techniques, *25th European Signal Processing Conference (EUSIPCO)*, 28.08.2017, Kos, Greece.
- TZOKAS, N., HART, S., ARGOUSLIDIS, P., SAREN, M. (2000), Industrial Export Pricing Practices in the United Kingdom, *Industrial Marketing Management*, 29, 191-204.
- VAREDI, M. (2010), Forecasting seat sales in passenger airlines: introducing the round-trip mode, *Thesis (MSc)*, University of Waterloo, Ontario, Canada.

TRANSFORMATÖRLERDE GEOMETRİK FAKTÖRLERİN KAÇAK REAKTANSA ETKİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Muhammed Alperen Çakır

Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Bölümü; Astor Enerji
225102093@kocaeli.edu.tr

Dr. Öğr. Üyesi, Esra Kandemir Beşer

Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Bölümü
esrakandemir@kocaeli.edu.tr

Özet

Kaçak reaktans, transformatör tasarımında kritik öneme sahiptir. Bu makalede kaçak reaktans ve kaçak reaktansa etki eden faktörler detaylı bir şekilde incelenmiştir. Transformatör verimliliği ve güç iletim kapasitesi üzerinde belirleyici bir rol oynayan kaçak reaktans, transformatörlerin performansını doğrudan etkileyen önemli bir tasarım parametresidir. Çalışmada transformatörlerin geometrik tasarımı ile doğrudan ilişkili olan bazı temel parametreler seçilmiştir. Her parametre, farklı aralıklarla değiştirilmiş olup Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY) ile transformatörlerin kaçak reaktansları belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar analiz edilmiş ve transformatör tasarımında geometrik parametrelerin kaçak reaktans üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Çalışmanın sonuçları, transformatör geometrisindeki farklılıkların kaçak reaktans üzerindeki etkisini ortaya koymakla birlikte hangi geometrik yapılandırmaların kaçak reaktans değerini optimize edebileceğini de gözler önüne sermiştir. Sonuç olarak, bu çalışmada farklı geometri yapılandırmalarına sahip transformatörlerin geometrik yapılandırmalarına göre kaçak reaktans davranışları incelenerek, transformatör tasarımcılarına kaçak reaktansı etkileyen geometrik parametrelerle ilgili bilgiler sunulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kaçak reaktans, sonlu elemanlar yöntemi, transformatör.

ASSESSING THE IMPACT OF GEOMETRIC FACTORS ON LEAKAGE REACTANCE IN TRANSFORMERS

Abstract

Leakage reactance is a crucial parameter in transformer design, significantly influencing efficiency and power transmission capacity. This study delves into the factors affecting leakage reactance, which directly impacts transformer performance. To investigate this, key geometric parameters were systematically varied, and the leakage reactance was calculated using the Finite Element Method (FEM). Each parameter was adjusted at specific intervals to assess its effect on leakage reactance. The results reveal how changes in transformer geometry impact leakage reactance, offering valuable insights for transformer designers. By understanding the relationship between geometric variations and leakage reactance, designers can make informed decisions to enhance transformer efficiency. This research contributes to the body of knowledge on transformer design, highlighting the importance of geometric parameters in optimizing leakage reactance and overall transformer performance.

Keywords: Finite element method, leakage reactance, transformer.

1. GİRİŞ

Transformatörlerin tasarımı ve performansı üzerinde kritik etkiye sahip olan kaçak reaktans değerinin doğru hesaplanması çeşitli çalışmalara konu olmuştur (Fouineau ve ark., 2018; Dawood ve ark., 2024; Dawood ve ark., 2017; Al-Dori ve ark., 2024). Kaçak reaktans değeri, transformatörlerin enerji iletim kapasitelerini, kısa devre dayanıklılıklarını ve ısı performanslarını doğrudan etkileyen önemli bir parametredir. Bu değer optimize edilerek transformatörlerin verimleri artırılabilir ve maliyet yönünden minimum optimizasyon sağlanabilmektedir.

Transformatörlerde meydana gelen kısa devre akımları ve kuvvetleri, kaçak reaktans değerinin düşük olması durumunda oldukça yüksek seviyelere ulaşabilmektedir (Dawood ve ark., 2023). Bu durum ise,

transformatörün ömrüne ve güvenliğine etki edebilmektedir. Transformatördeki manyetik ve mekanik stresler yüksek kısa devre akımları sebebiyle artacak, bu da transformatörün sargılarında ve diğer yapısal bileşenlerinde aşırı ısınmaya sebep olacaktır. Bu sebeple, düşük akım yoğunluğunun tercih edilmesi, düşük kaçak reaktans değerlerine sahip transformatörlerde gereklilik haline gelmektedir (Dawood ve ark., 2022; Dawood., 2023). Bu durum ise, transformatör tasarımında kullanılan malzeme miktarını arttırarak üretim maliyetlerini artış yönünde etkileyebilmektedir. Kaçak reaktansın çok yüksek olduğu durumlarda ise, transformatörün sargılarında girdap akımları (Eddy) ve yapısal bileşenlerindeki stray kayıpları artacaktır. Bu durum ise, transformatörün sargı sıcaklıklarını yükseltecek ve kayıplarını arttıracaktır. Dolayısıyla transformatör için ekstra soğutma sistemleri ya da daha yüksek kalitede malzemeler kullanılması gerekecektir. Bu gereklilikler ise transformatör maliyetinde büyük ölçüde artışlara yol açacaktır (Dawood ve ark., 2023).

Maliyet etkinliği ve transformatörün operasyonel güvenilirliği açısından bakıldığında, kaçak reaktans parametresinin dikkatli bir şekilde optimize edilmesi, bu parametrenin transformatör tasarımına etkisini gözler önüne sermektedir. Dolayısıyla, kaçak reaktansın doğru belirlenmesi ve tahmini, transformatör tasarımında geniş çaplı mühendislik yaklaşımı gerektiren bir etken olarak karşımıza çıkmaktadır. Yüzde empedans değeri, küçük dağıtım transformatörlerinde %2 değerine kadar düşük, büyük güç transformatörlerinde ise %20 değerlerine kadar yüksek olabileceği transformatör kullanıcıları tarafından belirtilmiştir (Kulkarni ve ark., 2004). Transformatör tasarımında kaçak reaktansın doğru bir şekilde hesaplanması kritik bir adım olup, transformatörün performansını optimize etmek amacıyla analitik ve sayısal yaklaşımlar geliştirilmiş ve kullanılmaktadır.

Bu yöntemlerden en yaygın olarak kullanılanlarından biri de analitik yöntemlerdir. Transformatörlerin geometrik parametrelerine dayanarak kaçak reaktansı matematiksel olarak hesaplamaya çalışan bu yöntem, hızlı sonuç vermesi ve mühendislik pratiklerinde yaygın olarak kullanılabilmesi sebebiyle avantajlıdır (Dawood ve ark., 2004). Avantajlı yönlerine rağmen bu yöntemler, karmaşık geometrilere sahip transformatörlerde yeterli doğruluğu sağlamada eksik kalabilmektedir. Dolayısıyla genellikle basitleştirilmiş geometrik varsayımlarda kullanılmaktadırlar. Kaçak reaktansın hesaplanmasında kullanılan bir diğer yöntem ise manyetostatik sonlu elemanlar yöntemidir. Kaçak reaktansın manyetik alan dağılımını modelleyerek hesaplanmasına imkân sağlayan bu yöntem, transformatörün malzeme özelliklerini ve geometrisini dikkate alarak kaçak reaktansın hassas bir şekilde hesaplanmasını sağlar (Castaneda ve ark., 2021; Dawood ve ark., 2023; Sharma ve ark., 2021). Özellikle transformatör tasarımında, standart olmayan sargı yapılandırmalarının ve asimetrik benzer olmayan amper-sarım dağılımlarının doğru bir şekilde hesaplanmasında yaygın olarak kullanılan bu yöntem, transformatörlerin elektrik alan, manyetik alan ve akım dağılımlarını modellemek amacıyla Maxwell denklemlerini doğrudan çözümleyen bir yöntemdir. Dolayısıyla bu yöntem, klasik geometriler dışında karmaşık geometrilere sahip transformatörlerde bile yüksek doğruluk sağlaması sebebiyle kaçak reaktans hesaplamalarında tercih edilmektedir.

Zamana bağlı kaçak reaktans hesaplamaları için geliştirilmiş başka bir yöntem ise geçici sonlu elemanlar yöntemidir (Dawood ve ark., 2023). Özellikle transformatörlerin dinamik yük koşulları altında nasıl performans göstereceğini değerlendirmek için bu yöntem kullanılır.

Kaçak reaktansı bulmak için kullanılan bir diğer yöntem de prototip yöntemidir. Gerçek transformatör prototiplerinin kullanıldığı teorik hesaplamaların doğrulanması ve gerçek çalışma şartlarındaki performansın değerlendirilmesini sağlayan bu yöntem son derece önemlidir. Bu yöntemlerin tümü, kaçak reaktansın değerinin doğru bir şekilde belirlenmesi ve değerlendirilmesi için kullanılmaktadır. Her yöntemin kendine göre avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır.

Farklı geometrik yapıların transformatör kaçak reaktansı üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla bu çalışma yapılmış olup, manyetostatik sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, kaçak reaktansa etki ettiği belirlenen bazı geometrik parametreler seçilmiş, bu parametreler belirli aralıklarda değiştirilmiş ve çıkan sonuçlar analiz edilerek bu parametrelerin kaçak reaktansa etkisi tespit edilmeye çalışılmıştır. Öncelikle, kaçak reaktansa etki ettiği belirlenen geometrik parametreler seçilerek farklı değer aralıklarında bu parametrelerin değerleri sistemli bir şekilde değiştirilmiştir.

Parametrelerin aldığı her farklı değer için ayrı bir geometrik yapı oluşması sebebiyle, her bir geometrik yapı için SEY analizi yapılarak, sonuçlar elde edilmiş ve kaçak reaktans değerleri hesaplanmıştır. Karşılaştırmalı olarak incelenen sonuçlar neticesinde, parametrelerin kaçak reaktans üzerindeki etkisi analiz edilmiştir.

2. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ

Sayısal analiz yaklaşımları 1940'lı yılların başında tanıtılmıştır. Ancak bu yaklaşımların transformatörler ve diğer elektrik makinelerini optimize etmek ve tasarlamak için kullanımının yaygınlaşması birkaç on yıl almıştır (Dawood ve ark., 2023). Sonlu elemanlar analizi, mühendislikte sıklıkla kullanılan sayısal tekniklerden biri olup, elektrik ve güç sistemlerinin yanı sıra çeşitli birçok disiplindeki karmaşık problemlerin çözümünde de önemli etkisini göstermiştir. Sonlu elemanlar analizi, fiziksel sistemleri analiz etmek ve davranışlarını modellemek için kullanılan güçlü bir yöntemdir. Sonlu elemanlar analizi ile farklı mühendislik alanlarındaki problemlerin çözümünde doğru ve güvenilir sonuçlar elde edilebilmektedir (Huang ve ark., 2022; Schlesinger ve ark., 2020).

Özellikle elektrik makinelerinin performansını analiz etmek, kaçak reaktans ve manyetik alan dağılımları gibi problemlerde sonlu elemanlar analizi yöntemi sıklıkla kullanılmaktadır. Transformatörler gibi farklı geometrilere sahip komponentlerde bu yöntem, yüksek hassasiyetli sonuçların elde edilmesine imkân tanır. Tasarım süreçlerinde performansı iyileştirmek, doğru sonuçları elde etmek ve maliyetleri düşürmek için bu yöntem çok gerekli bir araç durumuna gelmiştir (Dawood ve ark., 2023). Sonlu elemanlar yöntemi kullanarak kaçak reaktansın bulunması için sonlu elemanlar yöntemi üç ana kategoriye ayrılarak incelenebilir. Enerji yöntemi, endüktans yöntemi ve geçici yöntem bu üç ana kategorideki yöntemleri oluşturmaktadır (Dawood ve ark., 2023). Bu üç ana yöntemin her biri, farklı türdeki problemler için çeşitli çözümler sunar ve kaçak reaktansın doğru bir şekilde hesaplanmasına katkı sağlar.

Enerji yöntemi, kaçak reaktans hesaplamalarında en yaygın kullanılan sayısal yöntem olarak diğer yöntemler arasından öne çıkmıştır. Kaçak reaktansı değerlendirmek için bu yöntem diğer yöntemlere kıyasla çok daha hızlı sonuçlar elde edilmesine imkân tanıyarak, güçlü ve verimli bir yaklaşım sunar (Dawood ve ark., 2024). Dolayısıyla belirtilen özellikleri ile bu yöntem, yüksek doğrulukta sonuçlar verirken zamandan da tasarruf sağlar. Enerji yönteminin yüksek doğruluklu sonuçları hızlı bir şekilde vermesi, kaçak reaktans hesaplamalarında yaygın olarak kullanılmasını sağlamıştır. Sonlu elemanlar yönteminin bu üç alt yöntemi arasında, kaçak reaktansın doğru ve hızlı bir şekilde hesaplanmasında ve değerlendirilmesinde enerji yöntemi önemli bir yöntem olarak kabul görmektedir. Denklem 1 ve Denklem 2' de manyetostatik analiz yöntemi kullanılarak transformatörün farklı bölümlerindeki enerji dağılımının hesaplanmasıyla ilgili enerji ifadeleri sunulmuştur.

$$W_m = \int_V \frac{1}{2} \cdot BH dV \quad (1)$$

$$W_m = \frac{1}{2\mu} \int_V B^2 dV \quad (2)$$

H, B ve μ sırasıyla manyetik alan şiddetini, manyetik akı yoğunluğunu ve manyetik geçirgenliği ifade etmektedir.

Bu analiz yöntemi, transformatörün çeşitli bölümlerinde depolanan manyetik enerjinin, transformatörün manyetik alanlarının statik bir durumda incelenmesiyle doğru bir şekilde hesaplanmasına olanak tanır. Bu şekilde, transformatörün manyetik enerji durumları hakkında önemli veriler elde edilir. Transformatörün çeşitli bölgelerinde depolanan enerjilerin matematiksel ifadelerini Denklem 1 ve 2 göstererek, analiz ve optimizasyon süreçlerinde kullanılabilecek bilgiler sağlamaktadır.

Transformatörün toplam enerjisi kullanılarak kaçak reaktansın değerlendirilmesi için Denklem 3 kullanılabilir.

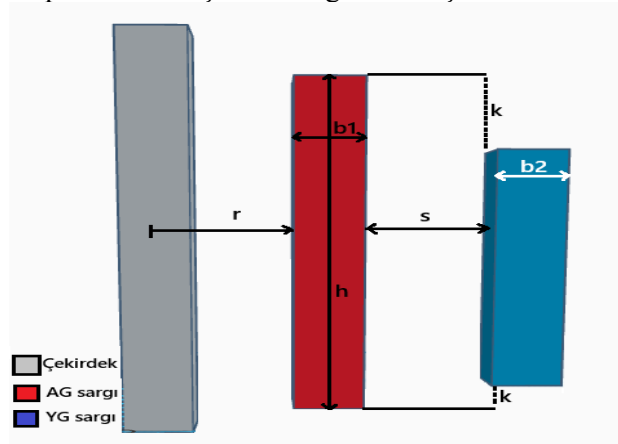
$$\%X = \frac{4\pi f E_{Toplam}}{I^2 Z_b} \quad (3)$$

Denklem 3'te E_{Toplam} transformatörün YG sargı, AG sargı ve diğer bölgelerdeki enerjilerin toplamını ifade etmektedir. Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak kaçak reaktansın hesaplanmasında bir diğer yöntem endüktans yöntemidir. Denklem 4, manyetostatik analiz kullanılarak endüktansın hesaplanması için kullanılabilir.

$$L = \frac{1}{I^2} \int_V B \cdot H dV \quad (4)$$

3. VERİLER VE SEY ANALİZİ

Kaçak reaktansın değişimini incelemek için bu çalışmada, kaçak reaktansa etki eden altı geometrik parametre seçilmiş olup, bu parametreler Şekil 1 de gösterilmiştir.



Şekil 1. Seçilen parametrelerin gösterimi

r: AG iç yarıçap, b1: AG sargı radyal kalınlığı, b2: YG sargı radyal kalınlığı, s: AG-YG sargılar arası mesafe

h: AG bobin yüksekliği, k: AG-YG bobin yükseklikleri arası fark
Şeklinde temsil edilmiştir.

Çalışmada, standart olarak üretilen bir prototip transformatör alınmıştır. Belirlenen parametreler, bu transformatör üzerinden, SEY'de değiştirilmiş ve farklı geometrik yapılarıdaki transformatörlerin toplam enerjileri bulunmuştur. Transformatörlerin kaçak reaktansları, bu toplam enerjilerden hesaplanarak ortaya konmuştur. Prototip transformatörün ana parametreleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Seçilen transformatörün özellikleri

Özellikler	Değerler
Güç	1600 KVA
Primer Gerilimi	33 kV
Sekonder Gerilimi	0,4 kV

YG Nominal Akım	28 A
Bağlantı Grubu	Dyn11

Yapılan SEY analizi sonucu seçilen transformatörün kaçak reaktans değerinin %6,54 olduğu görülmüştür. Bu transformatörün değerleri baz alınarak SEY 'de 3D olarak birçok geometrinin optimizasyon yöntemi ile toplam enerjileri bulunmuştur. Parametreler transformatör kaçak reaktansını optimize etmek için değiştirilmiştir. Başlangıç koşulu sırasında kaçak reaktansı 6,55 olarak hesaplanmıştır.

Durum 1'de sadece alçak gerilim sargısı ile yüksek gerilim sargısı arasındaki mesafe değiştirilmiştir. Geometrilerin ayrıntıları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Durum 1'deki parametre ve kaçak reaktans değerleri

	b1 (mm)	b2 (mm)	h (mm)	k (mm)	r (mm)	s (mm)	(%) X
Durum 1	12,5	9	600	0	116	49	6,55
	12,5	9	600	0	116	54	7,21
	12,5	9	600	0	116	59	7,90
	12,5	9	600	0	116	64	8,61
	12,5	9	600	0	116	69	9,31
	12,5	9	600	0	116	69	9,31

Tablo 2'de Durum 1 için belirlenen geometrik parametre değerleri ve bu değerler ile yapılan 3D SEY analizi sonucunda elde edilen kaçak reaktans değerleri gösterilmiştir. Burada altı parametreden sadece s parametresi değiştirilmiş olup diğer beş parametre sabit bırakılmıştır. s parametresi beşer milimetre artışla 49 milimetreden 69 milimetreye kadar değiştirilmiştir. Böylece Durum 1 için beş adet sonuç bulunmuştur. Yapılan analizde, AG sargı ve YG sargı arası mesafesini temsil eden s parametresi, kademeli olarak 5 mm'lik artışlarla değiştirilmiştir. Analiz, s parametresindeki her bir artışın kaçak reaktans değerinde yaklaşık olarak %10 oranında bir artış oluşturduğunu göstermiştir. Bu veri, AG-YG sargıları arasındaki mesafenin kaçak reaktans üzerindeki etkisini ortaya koyarak, transformatör tasarımında bu parametrenin optimizasyonunun önemini göstermektedir. Durum 2'de, alçak gerilim sargısının radyal kalınlığı değiştirilmiştir. Geometrilerin ayrıntıları Tablo 3'te verilmiştir. Belirlenen altı parametreden b1 parametresi, Durum 2'de değiştirilmiştir. b1 parametresi dışındaki diğer beş parametre sabit tutulmuştur. Bu parametre, 12,5 milimetreden 32,5 milimetreye kadar 5 milimetre artış ile değiştirilmiştir. Bu durumda beş sonuç elde edilmiş ve bu sonuçlar incelenmiştir.

Tablo 3. Durum 2'deki parametre ve kaçak reaktans değerleri

	b1 (mm)	b2 (mm)	h (mm)	k (mm)	r (mm)	s (mm)	(%) X
Durum 2	12,5	9	600	0	116	49	6,55
	17,5	9	600	0	116	49	6,88
	22,5	9	600	0	116	49	7,23
	27,5	9	600	0	116	49	7,59
	32,5	9	600	0	116	49	7,96
	32,5	9	600	0	116	49	7,96

Yapılan değerlendirmeler sonucunda, her bir artışla birlikte kaçak reaktans değerinde yaklaşık olarak %5'lik bir artış meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, AG sargısının radyal kalınlığının kaçak

reaktans üzerine etkisini açıkça ortaya koyarak, transformatör tasarımında bu parametrenin optimize edilmesinin önemini vurgulamıştır.

Durum 3'te ise yüksek gerilim sargısının radyal kalınlığı değiştirilmiştir. Geometrinin ayrıntıları Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Durum 3'teki parametre ve kaçak reaktans değerleri

	b1 (mm)	b2 (mm)	h (mm)	k (mm)	r (mm)	s (mm)	(%) X
Durum 3	12,5	9	600	0	116	49	6,55
	12,5	19	600	0	116	49	6,96
	12,5	29	600	0	116	49	7,38
	12,5	39	600	0	116	49	7,84
	12,5	49	600	0	116	49	8,30

Elde edilen değerlere bakıldığında, yüksek gerilim sargısının radyal kalınlığı arttıkça, kaçak reaktansın tutarlı bir şekilde yükseldiği görülmektedir. b2 parametresinin 9 mm'den 19 mm'ye çıkarılmasıyla kaçak reaktansın yaklaşık %6,26 oranında arttığı görülmüştür. 19 mm'den 29 mm'ye çıkarılmasıyla %6,03 oranında, 29 mm'den 39 mm' çıkarılması ile de %6,23 oranında arttığı gözlenmiştir. Son olarak 39 mm'den 49 mm'ye çıkarılmasıyla %5,87 oranında artış gösterdiği gözlemlenmiştir. Başlangıç değerine göre, ilk durum ile son durum arasındaki kaçak reaktans farkı %26,7 olarak tespit edilmiştir. Genel olarak, bu sonuçlar tutarlı bir eğilimi göstermektedir. Yüksek gerilim sargısının radyal kalınlığı arttıkça, kaçak reaktansı buna karşılık gelen bir artış göstermiştir. Bu durum, bu parametrenin transformatör tasarımı için önemini ortaya koymuştur. Durum 4 için yalnızca sargı yükseklikleri değiştirilmiştir. Durum 4 için geometrilerin ayrıntıları Tablo 5'te verilmiştir. Durum 4 için belirlenen geometrik parametreler ve bu parametrelerin değerleri gösterilmiş, üç boyutlu Sonlu Elemanlar Yöntemi analizi sonucu elde edilen kaçak reaktans değerleri verilmiştir. Altı parametreden sadece h parametresi değiştirilmiş, diğer beş parametre sabit bırakılmıştır. h parametresi, 600 milimetreden 800 milimetreye kadar 50 milimetre artışla değiştirilmiştir. Elde edilen sonuç değerlerine bakıldığında, sargı yüksekliği ile kaçak reaktans arasında net bir ilişki olduğu görülmektedir. Sargı yüksekliği arttıkça, kaçak reaktans değeri tutarlı bir şekilde düşüş göstermektedir. Genel olarak sonuçlar değerlendirildiğinde, sargı yüksekliği artışı ile kaçak reaktansın azalışının orantılı olduğu görülmüştür. Sargı yüksekliği 600 mm'den 800 mm'ye arttırıldığında, kaçak reaktansın toplamda %33 oranında azaldığı gözlenmiştir. Bu durum, transformatörün kaçak reaktans değeri üzerinde sargı yüksekliğinin önemli etkisini vurgulamaktadır.

Tablo 5. Durum 4'teki parametre ve kaçak reaktans değerleri

	b1 (mm)	b2 (mm)	h (mm)	k (mm)	r (mm)	s (mm)	(%) X
Durum 4	12,5	9	600	0	116	49	6.55
	12,5	9	650	0	116	49	6.04
	12,5	9	700	0	116	49	5.61
	12,5	9	750	0	116	49	5.23
	12,5	9	800	0	116	49	4.92

Durum 5 için yüksek gerilim sargısının yüksekliği değiştirilmiştir. Bu durum için geometrilerin ayrıntıları Tablo 6'da verilmiştir. Durum 5'teki neticeler, diğer tüm parametreler sabit tutulduğunda, sargı yükseklikleri arasındaki fark ile kaçak reaktans arasında bariz bir ilişki olduğunu ortaya koymaktadır. Sargı yükseklikleri arasındaki fark arttıkça, kaçak reaktans genel olarak hafif bir artış

göstermektedir. Değerlere bakılırsa, k 0 mm'den 5 mm'ye çıkarıldığında, kaçak reaktans yaklaşık %0,3 oranında artmıştır. 5 mm'den 10 mm'ye çıkarken, kaçak reaktansın da yaklaşık %0,91 oranında arttığı gözlenmiştir. k , 10 mm'den 15 mm'ye çıktığında ise kaçak reaktans yaklaşık %0,75 oranında daha da artmıştır. Nihai olarak, k , 15 mm'den 20 mm'ye çıkarıldığında kaçak reaktans değeri yaklaşık %1,05 oranında artmıştır. k parametresinin artmasıyla kaçak reaktanstaki değişimler nispeten küçük olsa da neticede kaçak reaktansı kademeli olarak arttırdığı görülmektedir. Sonuç olarak bu durum, bu parametrenin transformatör tasarımındaki önemini göstermektedir.

Tablo 6. Durum 5'teki parametre ve kaçak reaktans değerleri

	b1 (mm)	b2 (mm)	h (mm)	k (mm)	r (mm)	s (mm)	(%) X
Durum 5	12,5	9	600	0	116	49	6,55
	12,5	9	600	5	116	49	6,57
	12,5	9	600	10	116	49	6,63
	12,5	9	600	15	116	49	6,68
	12,5	9	600	20	116	49	6,75
	12,5	9	600	20	116	49	6,75

Durum 6 için ise alçak gerilim sargısı iç yarıçapı değiştirilmiştir. Durum 6 için geometrinin ayrıntıları Tablo 7'de verilmiştir. Bu analizde de diğer analizlerde olduğu gibi altı farklı parametre belirlenmiş olup, Durum 6 için r parametresi değiştirilmiştir. Diğer beş parametre değeri sabit tutulmuş, bu sayede r parametresinin kaçak reaktans üzerinde etkisi incelenmiştir. Durum 6 için r parametresi, 10 milimetre arttırılarak 116 milimetreden 156 milimetreye kadar değiştirilmiştir. Dolayısıyla Durum altı içinde beş farklı sonuca ulaşılmıştır. Sonuçlar, diğer tüm parametreler sabit tutulduğunda AG iç yarıçap değeri ile kaçak reaktans arasında net bir ilişki olduğunu göstermektedir. r parametresi arttıkça, kaçak reaktans değerinin arttığı gözlenmektedir. İlk durumda kaçak reaktans değerinin %4,28 oranında arttığı görülmüştür. Bu durum için r , 116 mm'den 126 mm'ye çıkarılmıştır. r , 126 mm'den 136 mm'ye çıkarıldığında ise kaçak reaktans değerinin %7,71 oranında artış sergilediği gözlemlenmiştir. r parametresi, 136 mm'den 146 mm'ye çıkarıldığında ise kaçak reaktans yaklaşık %5,58 oranında yükselmektedir. Son olarak kaçak reaktansın, r parametresi 146 mm'den 156 mm'ye çıkarıldığında, %5,41 oranında arttığı görülmüştür. Değerler incelendiğinde, kaçak reaktans üzerinde r parametresinin etkisi ortaya konulmuştur. Aynı zamanda bu sonuçlar, transformatör tasarımında bu parametrenin önemini vurgulamıştır. Tüm değerler, geometrik değişimlerin kaçak reaktansa nasıl etki ettiğini anlamak amacı ile analiz edilmiştir.

Tablo 7. Durum 6'teki parametre ve kaçak reaktans değerleri

	b1 (mm)	b2 (mm)	h (mm)	k (mm)	r (mm)	s (mm)	(%) X
Durum 6	12,5	9	600	0	116	49	6,55
	12,5	9	600	0	126	49	6,83
	12,5	9	600	0	136	49	7,35
	12,5	9	600	0	146	49	7,76
	12,5	9	600	0	156	49	8,18
	12,5	9	600	0	156	49	8,18

4. SONUÇ

Transformatörlerde kaçak reaktans, tasarım açısından en kritik parametrelerden biri olarak kabul edilmektedir. Bu çalışmanın temel amacı, transformatör tasarımında kaçak reaktansın nasıl değiştiğine dair verileri analiz etmek ve sunmaktır. Çalışmada, belirlenen altı farklı geometrik parametrenin kaçak reaktans üzerindeki etkileri incelenmiş ve bu parametreler için elde edilen sonuçlar veri tabloları

şeklinde detaylandırılmıştır. Transformatorün farklı geometrik parametrelerinin kaçak reaktansa etkisi incelenerek, bu parametrelerin kaçak reaktansa etkisi ortaya konulmuş ve değerlendirilmiştir. Transformator tasarımı için, kaçak reaktans değerinin optimize edilmesinde, elde edilen bu bulgular kritik öneme sahiptir. Çalışmada belirlenen geometrik parametrelerin dikkatli bir şekilde optimize edilmesi, transformatorün kayıpları, sıcaklık artışları ve kısa devre akımları gibi olumsuz etkilerinin minimize edilmesine yardımcı olacak ve transformator performansının iyileştirilebilmesi yönünde yol gösterecektir. Farklı transformator türleri ve daha kompleks geometriler için ileride yapılacak çalışmalar, benzer analiz ve yöntemlerin genişletilmesiyle transformator tasarımı için en iyi optimizasyonu sağlama ve transformator performansını iyileştirme yönünde daha fazla katkı sağlayabilir. Sunulan bulgular, transformator tasarım sürecinde kaçak reaktansı optimize etmek için yol gösterici niteliktedir.

TEŞEKKÜR

Transformator verilerini sağladıkları ve finansal destekleri için Astor Enerji firmasına teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Al-Dori, O., Şakar, B., & Dönük, A. (2022). Comprehensive analysis of losses and leakage reactance of distribution transformers. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 47(11), 14163-14171.
- Berhausen, S., & Paszek, S. (2021). Determination of the leakage reactance of end windings of a high-power synchronous generator stator winding using the finite element method. *Energies*, 14(21), 7091.
- Castaneda Hernandez, R. L., Diaz Florez, G. A., Perez Gelves, J. J., & Mombello, E. E. (2021). Analytic formulation for the calculation of leakage reactance in wound-core transformers. *International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics*, 65(2), 197-213.
- Dawood, K., Alboyaci, B., Cinar, M. A., & Sonmez, O. (2017). A new method for the calculation of leakage reactance in power transformers. *Journal of Electrical Engineering and Technology*, 12(5), 1883-1890.
- Dawood, K., Işık, F., & Kömürgöz, G. (2022). Analysis and optimization of leakage impedance in a transformer with additional winding: A numerical and experimental study. *Alexandria Engineering Journal*, 61(12), 11291-11300.
- Dawood, K., & Kömürgöz, G. (2022). A simple analytical method for accurate prediction of the leakage reactance and leakage energy in high voltage transformers. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*.
- Dawood, K., & Tursun, S. (2023, June). Influence of the Number of Sections on the Leakage Reactance of the Multi-Winding Transformer. In *2023 5th Global Power, Energy and Communication Conference (GPECOM)* (pp. 1-4). IEEE.
- Dawood, K., Sönmez, O., & Kömürgöz, G. (2023). Optimization and analysis of tapping position on leakage reactance of a two winding transformer. *Alexandria Engineering Journal*, 69, 363-369.
- Dawood, K., & Tursun, S. (2024). Optimized gap positions for improved leakage impedance in dry-type transformer design. *Results in Engineering*, 23, 102632.
- Huang, L., Xiong, B., & Qian, X. (2022, November). Calculation and analysis of harmonic leakage reactance of asynchronous motors under overload condition. In *2022 25th international conference on electrical machines and systems (ICEMS)* (pp. 1-4). IEEE.
- Fouineau, A., Raulet, M. A., Lefebvre, B., Burais, N., & Sixdenier, F. (2018). Semi-analytical methods for calculation of leakage inductance and frequency-dependent resistance of windings in transformers. *IEEE Transactions on magnetics*, 54(10), 1-10.
- Kulkarni, S. V., & Khaparde, S. A. (2004). *Transformer engineering* (Vol. 1). New York: Marcel Dekker.
- Sharma, A., & Kimball, J. W. (2021). Evaluation of transformer leakage inductance using magnetic image method. *IEEE Transactions on Magnetism*, 57(11), 1-12.
- Schlesinger, R., & Biela, J. (2020). Comparison of analytical models of transformer leakage inductance: Accuracy versus computational effort. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 36(1), 146-156.

TİCARİ VE ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA 6 EKSENLİ IMU SENSÖR ENTEGRASYONU İLE KAZA ALGILAMA VE YÜKSEK VOLTAJ KESME SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Şamil Aslankaya

Anadolu Isuzu Otomotiv Sanayi ve Ticaret A.Ş., Ar-Ge, Kocaeli, Türkiye
samil.aslankaya@isuzu.com.tr, ORCID: 0009-0005-3125-1771

Samet Sülün

Anadolu Isuzu Otomotiv Sanayi ve Ticaret A.Ş., Ar-Ge, Kocaeli, Türkiye
samet.sulun@isuzu.com.tr, ORCID: 0009-0008-7443-0018

Ali Cemal Demirci

Anadolu Isuzu Otomotiv Sanayi ve Ticaret A.Ş., Ar-Ge, Kocaeli, Türkiye
ali.demirci@isuzu.com.tr, ORCID: 0009-0008-0022-5732

Hüseyin Can Şenkal

Anadolu Isuzu Otomotiv Sanayi ve Ticaret A.Ş., Ar-Ge, Kocaeli, Türkiye
huseyincan.senkal@isuzu.com.tr, ORCID: 0009-0003-0906-0683

Özet

Yeni nesil araçlarda güvenlik sistemleri, otomotiv endüstrisinde sürdürülebilir güvenlik çözümlerinin sağlanması açısından büyük önem taşımakta olup, elektrikli araçların yaygınlaşmasıyla birlikte daha da kritik hale gelmiştir. Bu çalışmada, ticari araçlarda kullanılmak üzere geliştirilen 6 eksenli (6D IMU) ivme ve jiroskop sensörünün araç güvenlik sistemlerine entegrasyonu detaylı olarak incelenmiştir. Sensör, aracın dinamik davranışlarıyla ilgili olarak eğim, ivme ve açısal hız gibi parametreleri yüksek hassasiyetle ölçebilme yeteneğine sahiptir. Sensörden elde edilen veriler, CAN-Bus haberleşme protokolü üzerinden araç kontrol ünitelerine gerçek zamanlı olarak iletilmekte ve analiz edilmektedir. Çalışmada üç temel senaryo ele alınmıştır: Birinci senaryoda, gyro sensör kullanılarak aracın geri kaçma riski anında tespit edilerek sürücünün görsel ve işitsel olarak uyarılması, gerektiğinde frenleme sisteminin devreye girmesi sağlanmaktadır. İkinci senaryoda ise park halindeki araçların dışsal müdahalelerle yer değiştirmesi durumunda hareket algılama sistemi ile sürücüye erken uyarı verilmesi amaçlanmıştır. Üçüncü olarak, elektrikli araçlarda kaza anında yüksek voltajlı batarya sistemlerinin devre dışı bırakılması incelenmiş ve araçta oluşan G-kuvveti eşiklerinin aşılması durumunda, otomatik olarak yüksek voltajın kesilmesini sağlayan bir güvenlik sistemi geliştirilmiştir. Sensör teknolojisinin güvenlik sistemleriyle entegrasyonunun, özellikle endüstriyel ve elektrikli taşıtlarda karşılaşılan kritik güvenlik sorunlarını etkin biçimde çözebilmesi hedeflenmiştir. Sensör verileri sayesinde kaza ve hareket anlarında daha hızlı ve etkili müdahaleler mümkün olmakta ve araçların kullanım güvenliği önemli ölçüde artırılmaktadır. Bu çalışma, araç güvenliği teknolojilerine yenilikçi yaklaşımlar sunarak güvenlik seviyesini artırmayı amaçlamakta; aynı zamanda sürücülere anlık geri bildirim sağlayarak farkındalıklarını ve bilinç düzeylerini yükseltmeyi hedeflemektedir.

Anahtar Kelimeler: Gyro Sensör, Araç Güvenliği, Ticari Araçlar, Kaza Önleme, CAN-Bus

DEVELOPMENT OF A COLLISION DETECTION AND HIGH VOLTAGE CUT-OFF SYSTEM THROUGH 6-AXIS IMU SENSOR INTEGRATION IN COMMERCIAL AND ELECTRIC VEHICLES

Abstract

In next-generation vehicles, safety systems play a vital role in ensuring sustainable safety solutions within the automotive industry, and this importance becomes even more critical with the increasing prevalence of electric vehicles. This study focuses on the integration of a 6-axis (6D IMU) accelerometer and gyroscope sensor into vehicle safety systems, specifically designed for use in commercial vehicles.

The sensor has the capability to accurately measure dynamic parameters such as inclination, acceleration, and angular velocity of the vehicle. The data obtained from the sensor is transmitted and analyzed in real time via the CAN-Bus communication protocol to the vehicle's control units.

Three main scenarios are examined within the scope of the study. In the first scenario, the risk of a vehicle rolling backward is detected instantly using the gyro sensor, enabling both visual and auditory alerts to the driver and, if necessary, the activation of the braking system. In the second scenario, when a parked vehicle experiences external interference such as towing or impact, the movement detection system triggers an early warning to inform the driver. The third scenario investigates the automatic disconnection of high-voltage battery systems in electric vehicles during a crash. A safety mechanism is developed to cut off the high-voltage system when predefined G-force thresholds are exceeded.

The integration of sensor technology into safety systems is aimed at effectively addressing critical safety issues, particularly in industrial and electric vehicles. Through sensor data, faster and more effective responses during accidents or abnormal movements are made possible, significantly enhancing vehicle safety. This study proposes innovative approaches to vehicle safety technologies, aiming to elevate the overall level of safety while also providing real-time feedback to drivers, thus increasing their awareness and situational understanding.

Keywords: Gyro Sensor, Vehicle Safety, Commercial Vehicles, Collision Prevention, CAN-Bus

1. GİRİŞ

Araç güvenliği, otomotiv endüstrisinin en önemli odak noktalarından biridir. Günümüz araçlarında geliştirilen yeni teknolojiler ile güvenlik ve acil durum sistemleri kullanıcılar için büyük önem arz etmektedir. Bu sistemler ile güvenli bir sürüş ve kullanım sağlanarak kaza riskini, kaza anında oluşacak hasarı en aza indirmek amaçlanmaktadır. Bu proje, sensörünün elektrikli araçlarda güvenlik sistemlerine entegrasyonunu ele alan ilk çalışmalardan biridir. Sensörün 3 ekseninde hareket algılama yeteneği, araç dinamiği hakkında detaylı bilgi sunarak, güvenlik sistemlerinin etkinliğini artırmaktadır. Proje, elektrikli araçların güvenliğini artırmayı ve sürücülere anında geri bildirim sağlamayı hedeflemektedir. Geliştirilen sistemler, araçların eğimli yüzeylerde kayma riskini algılama, park halinde hareketi tespit etme ve kaza anında hızlı acil müdahale yapma gibi kritik alanlarda pratik ve etkili çözümler sunmayı amaçlamıştır. Bu proje, araç güvenliğini artırmaya yönelik yenilikçi çözümler sunarken, aynı zamanda ticari araçların ve elektrikli araçların güvenlik sistemlerinin gelecekte nasıl şekilleneceği konusunda önemli bir temel oluşturmaktadır. Geliştirilen sistemlerin, güvenlik önlemleri ve sensör teknolojileriyle birlikte, araçların güvenliğini daha da artırarak, trafik kazalarını ve araçlardan kaynaklanan tehlikeleri minimize etmesi beklenmektedir.

2. MATERYAL VE METOD

Endüstriyel ve elektrikli araçlarda, sensörün araca entegrasyonu ve dinamik hareketlerin algılanarak bu verilerin CAN-Bus Haberleşme protolü üzerinden araç kontrol sistemleri ile haberleşmesi sağlanarak güvenlik seviyesinin artırılması amaçlanmıştır. İlk olarak sensör, sürüş anında oluşacak titreşim ve ufak hareketlerden etkilenmeyecek şekilde tasarlanan bir braket ile aracın ağırlık merkezine yakın bir konumda şasi üzerine sabitlenmiştir. Sensörün bağlantıları; besleme, topraklama ve CAN olmak üzere yapılmıştır. Sensör, özellikle otomotiv ve endüstriyel uygulamalarda kullanılan, yüksek hassasiyetli bir eğim, ivme ve gyroscope sensörüdür. Bu sensör, 6D IMU (Inertial Measurement Unit) teknolojisiyle, üç ekseninde ivmeölçer ve üç ekseninde gyroscope içerir. Bu sayede, eğim, ivme ve açısal hız gibi parametreleri yüksek doğrulukla ölçebilir. İvmeölçer (Accelerometer): $\pm 2g$, $\pm 4g$, $\pm 8g$ ve $\pm 16g$ aralığında ivme ölçümü yapabilen bir ivmeölçer içerir. Bu sensör, araçların hızlanma ve yavaşlama hareketlerini algılayarak, dinamik stabilite ve güvenlik sistemlerinde kullanılır. Gyro sensör (Gyroscope): $\pm 245dps$, $\pm 500dps$, $\pm 1000dps$ ve $\pm 2000dps$ aralığında açısal hız ölçümü yapabilen bir jiroskop içerir. Bu özellik, araçların yönelim değişikliklerini ve eğim açılarını hassas bir şekilde algılayarak, özellikle eğimli yüzeylerdeki stabiliteyi izler.

Sensör Füzyonu (Sensor Fusion): İvmeölçer ve gyroscope verileri, sensör füzyonu algoritmalarıyla birleştirilerek daha doğru ve güvenilir ölçümler elde edilir. Bu sayede, araçların dinamik davranışları

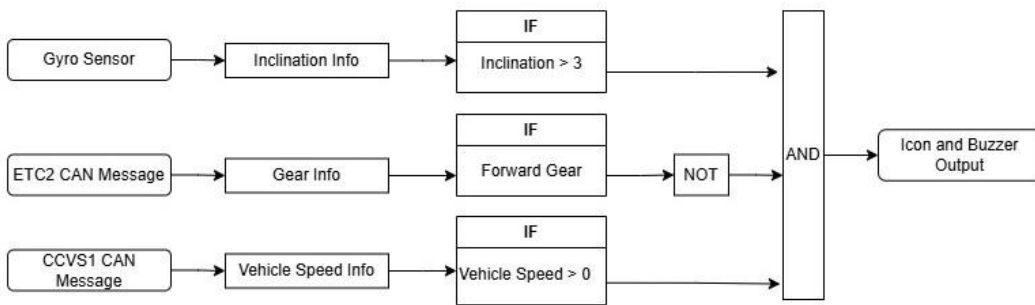
daha etkili bir şekilde izlenebilir. Çıkış Sinyalleri: Analog ve dijital çıkış seçenekleri sunar. Analog çıkışlar arasında 0-5V, 0-10V, 4-20mA gibi seçenekler bulunurken, dijital çıkışlar için 2 kanal mevcuttur. Sensör, aracın durağan durumdayken topladığı verileri, CAN-Bus üzerinden araç kontrol ünitelerine (Instrument Panel, Electronic Control Unit, Power Distribution Unit) iletebilmesi için CAN-H ve CAN-L olmak üzere 2 kablo ile bağlantısı yapılmıştır. Sensörden alınan veriler şunları içerir; Eğim (Pitch ve Roll): Araç şasisinin yatay düzlemle yaptığı açı. İvme (Acceleration): Araç üzerindeki kuvvetlerin, özellikle ani hareketler veya darbe etkisi sonucu oluşan ivmeler. G-Kuvveti: Araç üzerindeki dinamik hareketlerin ölçülmesi. Veriler, analog-dijital çevirici (ADC) aracılığıyla dijital hale getirildikten sonra, CAN-Bus üzerinden ECU'ya aktarılır. Sistem, bu verileri sürekli izler ve belirli eşik değerlerine ulaşıldığında alarm sistemini tetikler.

2.1. TS EN 1501-1 Standardına Uygun Olarak Gyro Sensör Kullanımıyla Çöp Toplama Araçlarında Güvenliğin Artırılması

TS EN 1501-1 standardı, çöp toplama araçları ve bu araçlara entegre kaldırma sistemlerinin genel ve güvenlik gereklerini tanımlayan bir düzenlemedir. Bu standart, özellikle arkadan yüklemeli çöp toplama taşıtlarını kapsamakta olup, bu tür araçların güvenli ve verimli bir biçimde çalışmasını temin etmek amacıyla tasarım ve güvenlik gereksinimlerini içermektedir. Standart kapsamında operatör güvenliği ile çevresel güvenliğin sağlanması temel hedef olarak belirlenmiştir.

Bu çerçevede gerçekleştirilen çalışmada, aracın ağırlık merkezine yakın, dışsal etkilerin en az olduğu bir konum belirlenerek bir gyro sensör konumlandırılmıştır. Gyro sensör, aracın x, y ve z eksenlerindeki dinamik hareketlerini izlemekte ve bu verileri can hattı üzerinden gerçek zamanlı olarak iletmektedir. Araç hareket halindeyken elde edilen sensör verileri analiz edilerek, yokuş yukarı/ aşağı hareket, kasisten geçiş, üst yapı sistemi çalışması ve geri kaçma (rollback) gibi durumlar ayrıştırılmış ve bu veriler doğrultusunda kontrol yazılımı optimize edilmiştir.

Bu geliştirme sayesinde, üst yapı sistemi çalışırken aracın geri kaçma riski algılandığında, şoföre hem görsel hem de işitsel uyarı verilmekte ve 1 saniye içinde frene basması beklenmektedir. Sürücünün bu süre zarfında fren uygulamaması halinde, üst yapı kontrol sistemi otomatik olarak 60 dakika süreyle devre dışı bırakılmaktadır. Bu önlem, operatör ve çevre güvenliğinin sağlanmasına yönelik proaktif bir emniyet stratejisi olarak değerlendirilmiştir. [8]



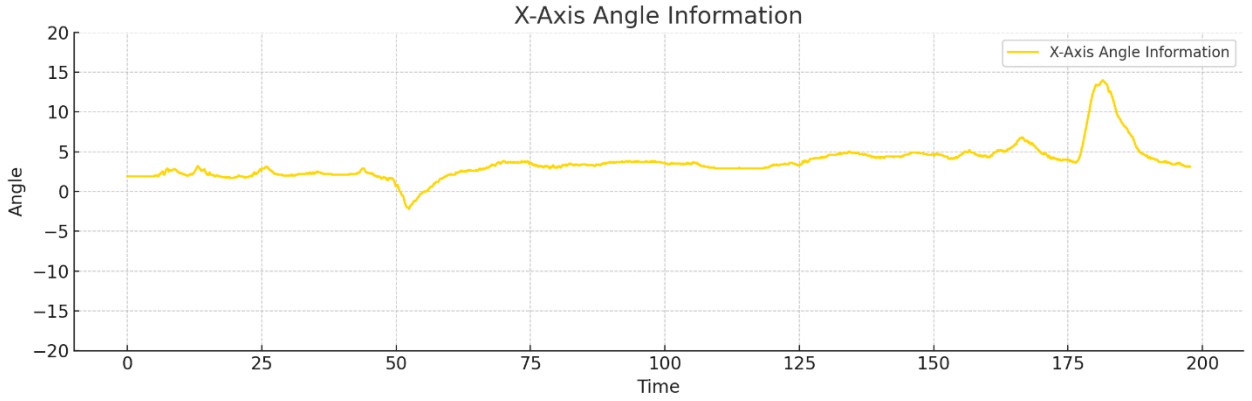
Şekil 1. Fonksiyon Blok Diyagramı

Bu diyagram, araçlarda eğimli yüzeylerde meydana gelebilecek geri kayma risklerine karşı sürücünün uyarılmasını sağlayan bir güvenlik yazılımının karar mantığını göstermektedir. Sistem, üç farklı veri kaynağından alınan bilgiler doğrultusunda çalışmaktadır: Gyro sensör aracılığıyla elde edilen eğim bilgisi, ETC2 CAN mesajı ile alınan vites konumu ve CCVS1 CAN mesajı üzerinden okunan araç hız bilgisi.

Yazılım, aşağıdaki üç koşulun **eşzamanlı sağlanması** durumunda uyarı mekanizmasını devreye sokmaktadır:

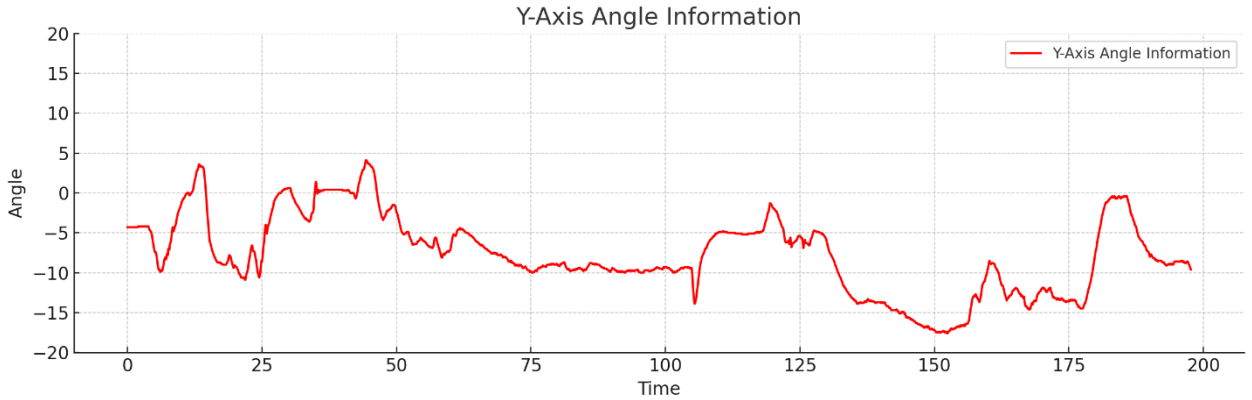
- Araç eğiminin 3° 'nin üzerinde olması,
- Vitesin geri konumda olması,
- Aracın hareket halinde bulunması (hız > 0).

Bu koşullar karşılandığında, sürücüye **ikon ve buzzer** ile hem görsel hem de işitsel uyarı verilmektedir. Bu yapı, özellikle eğimli zeminlerde geri manevralarda oluşabilecek kayma tehlikelerine karşı sürücü farkındalığını artırarak güvenli sürüşü desteklemeyi amaçlamaktadır.



Şekil 2. X Ekseninde Oluşan Eğim Grafiği

Bu grafikte, aracın X eksenindeki eğim değişimi zamanla incelenmiştir. X eksen eğimi, aracın sağa veya sola yatma durumunu göstermektedir. Grafik, sürüş esnasında genellikle yatay düzleme yakın bir seyir izlendiğini, yalnızca belirli noktalarda ani değişimler yaşandığını göstermektedir. Bu değişimler, ani manevralar veya yol şartlarına bağlı denge bozulmalarıyla ilişkilendirilebilir.



Şekil 3. Y Ekseninde Oluşan Eğim Grafiği

Y eksen eğim bilgisi, aracın öne veya arkaya doğru eğimini göstermektedir. Grafikte zamanla değişen eğim değerleri, özellikle eğimli yüzeylerdeki hareketleri ve dur-kalk esnasındaki dengesizlikleri yansıtmaktadır. Eğimin -15° 'ye kadar ulaşması, aracın geri kayma riski taşıdığı durumları işaret edebilir. Bu veriler, eğim tabanlı güvenlik sistemlerinin gerekliliğini desteklemektedir.



Şekil 4. Hız Grafiği

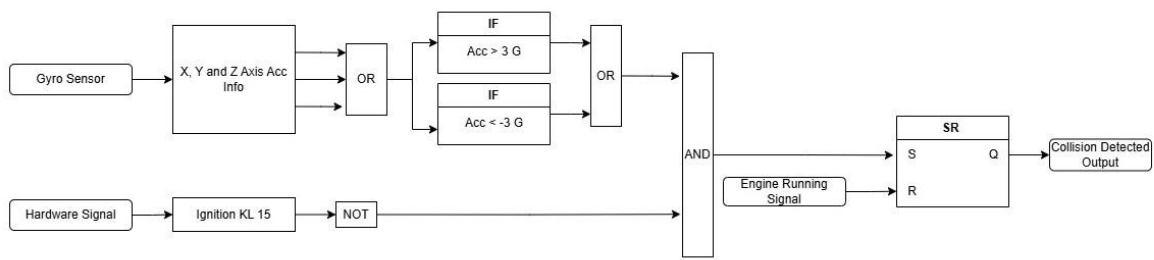
Bu grafik, aracın zaman içerisindeki hız değişimini göstermektedir. Hız verileri aracın durduğu, hızlandığı ve sabit hızla seyrettiği anları ortaya koymaktadır. Grafik, özellikle belirli anlarda ani duruşlar ve hızlanmalar olduğunu, ardından sabit hızla ilerleme gerçekleştiğini göstermektedir. Bu veriler, eğimle birlikte değerlendirildiğinde, aracın eğimli zeminlerde hareket halinde olup olmadığını belirlemek ve güvenlik algoritmasını tetiklemek açısından önemlidir.

2.2. Park Halindeki Araçta Müdahale Kaynaklı Hareket Tespiti ve Sürücü Uyarı Sistemi

Araç park halindeyken, dışsal bir darbe, çekme, vinç müdahalesi veya hırsızlık girişimi gibi etkilerle aracın şasi düzleminde ani ivmelenme, sarsılma ya da yer değiştirme meydana geldiğinde, şasiye entegre edilmiş gyro sensörü bu anormal hareketi algılar.

Sistem, mikrodenetleyici tarafından belirlenen hareket eşik değerlerinin aşılması durumunda durumu “müdahale algısı” olarak sınıflandırır ve hafızaya kaydeder. Bu olayın ardından araç kontağı açıldığında, sürücüyü sesli (buzzer, hoparlör) ve görsel (gösterge paneli, uyarı lambası) yollarla bilgilendiren bir uyarı mekanizması devreye girer.

Bu sistem, sürücünün araç çalıştırmadan önce dış müdahale kaynaklı riskleri fark etmesini sağlar ve özellikle gece parklarında hırsızlık veya çekici müdahalesi gibi olaylarda erken uyarı niteliği taşır. Sistem CAN-Bus altyapısı üzerinden araç kontrol ünitesiyle haberleşebilecek şekilde tasarlanmıştır ve gerektiğinde filo yönetim sistemine veya sürücü mobil cihazına uyarı iletimi sağlayacak şekilde genişletilebilir.



Şekil 5. Fonksiyon Blok Diyagramı

Bu blok diyagramı, park halindeki araca yönelik fiziksel müdahalelerin (çekme, çarpma, vinç müdahalesi vb.) tespiti amacıyla geliştirilen algoritmayı göstermektedir. Sistem, araç şasisine entegre gyro sensör aracılığıyla X, Y ve Z eksenlerindeki ivme değişimlerini sürekli izler. Herhangi bir eksen $\pm 3G$ değerinin aşılması durumunda bu olay anormal hareket olarak değerlendirilir.

Çarpışma tespiti yalnızca araç çalışmaz (Ignition KL15 = 0) ve motor duruyken gerçekleşen ivme değişimlerine dayandırılarak yapılır. Böylece park halindeki müdahalelerle, sürüş esnasındaki doğal

ivme değişimleri ayrıştırılır. Koşullar sağlandığında, SR tetikleyici yapısı ile kalıcı bir "çarpışma algılandı" sinyali oluşturulur.

Geliştirilen bu algoritma, aracın çalıştırılması öncesinde sürücünün olası dış müdahaleler hakkında bilgilendirilmesini sağlayarak hem güvenlik hem de olay takibi açısından önemli bir katkı sunmaktadır.

2.3. Kaza Anında Acil Durum Tepkisi

Elektrikli araçlarda, kaza anında yüksek voltajlı bataryaların tehlike oluşturmasını engellemek amacıyla, G-kuvveti eşikleri aşıldığında yüksek voltaj sisteminin devre dışı bırakılması sağlanır. Bu işlem, elektrikli araçlarda güvenliği en üst düzeye çıkarır. Bir otobüsün kaza anında oluşacak G kuvveti, kazanın gerçekleştiği hız ve otobüsün durma mesafesi gibi parametrelere bağlıdır. Kazada meydana gelen G kuvveti, aslında otobüsün hızındaki ani değişiklik ile ilişkili olan ivme miktarını ifade eder. G kuvveti, genellikle "G" birimi ile ifade edilir ve Dünya üzerindeki yerçekimi ivmesinin bir katı olarak tanımlanır (yaklaşık 9.81 m/s^2). Araçta kaza anında oluşan G kuvveti, çarpma hızına, durma mesafesine ve aracın yapısal özelliklerine bağlı olarak değişir.[5] Genel bir hesaplama yapmak için aşağıdaki formül kullanılabilir:

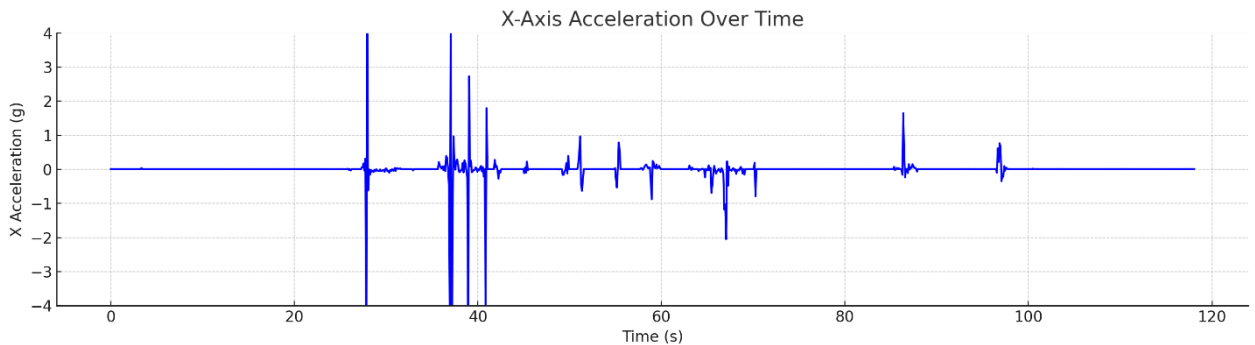
$$G = (V^2) / (2 \times g \times d)$$

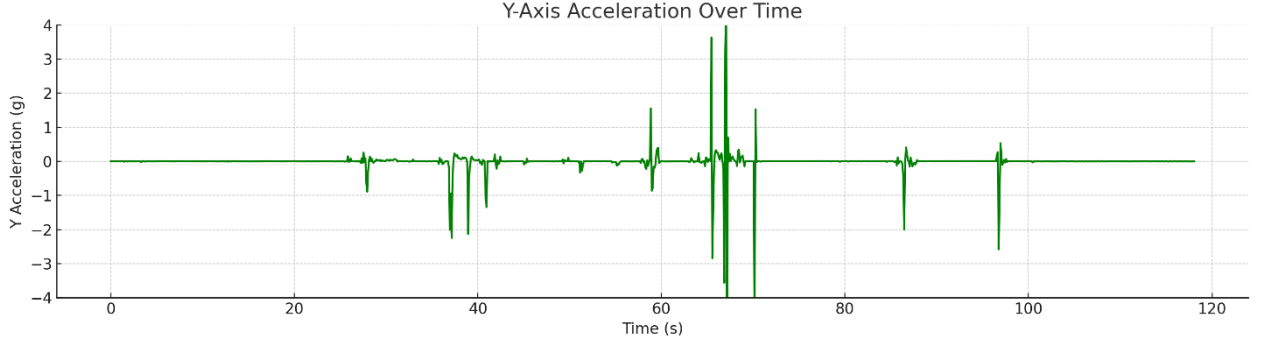
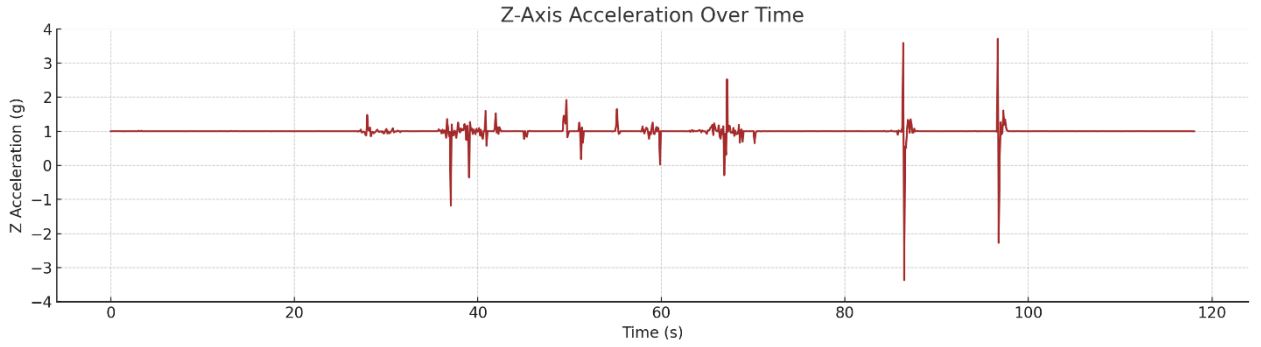
Bu durumda, 30 km/h hızla giden, durma mesafesi 1 metre olarak kabul edilen bir otobüsün kaza anında oluşan G kuvveti yaklaşık olarak 3.54 G olacaktır. [6]

Tablo 1. Farklı Hızlarda Araçların Maruz Kaldığı G Kuvveti Değerleri [4]

Hız (km/s)	Hız (m/s)	İvme $a = v^2/2.1 \text{ (m/s}^2\text{)}$	G Kuvveti $a/9.81$
50	13.89	96.5	9.84 G
70	19.44	189.0	19.26 G
90	25.00	312.5	31.86 G
110	30.56	467.2	47.63 G
130	36.11	652.0	66.47 G

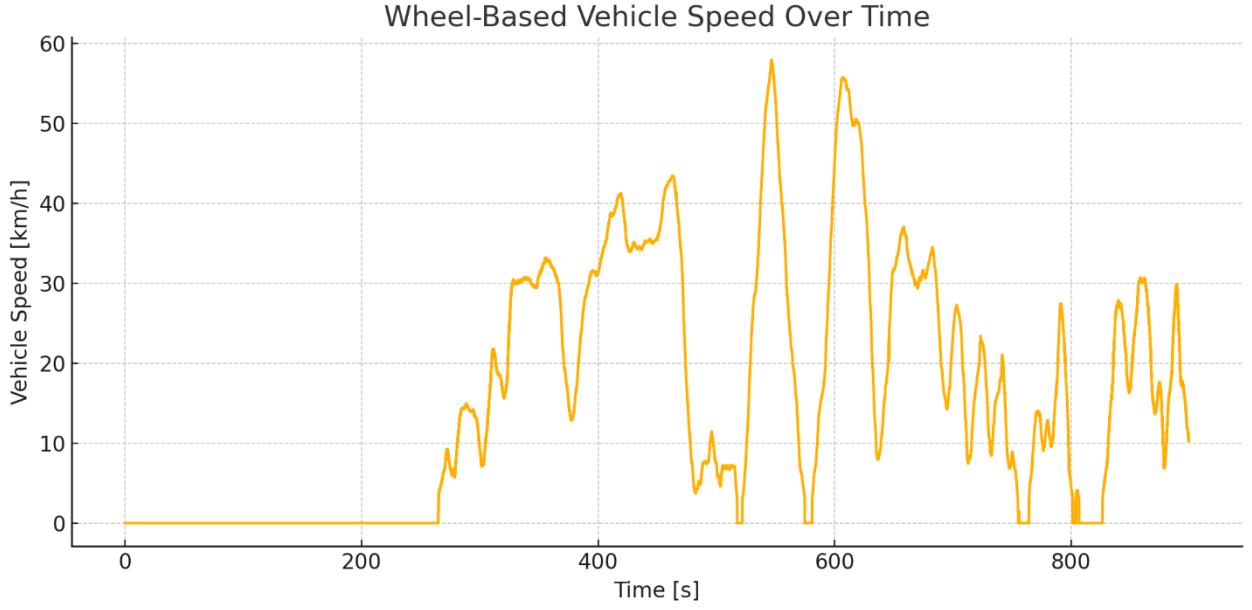
Elektrikli araçlar, içten yanmalı motorların aksine bataryalarla çalışan sistemlerdir ve bu bataryalar genellikle yüksek voltajlıdır. Bu yüksek voltajlı bataryalar, araç güvenliği açısından büyük bir öneme sahiptir, çünkü bir kaza anında batarya hasar görürse, ciddi yangın ve elektriksel şok riskleri ortaya çıkabilir. Bu tür güvenlik tehlikelerinin önüne geçebilmek için elektrikli araçlarda, kaza anında yüksek voltaj sisteminin devre dışı bırakılması sağlanır. [9] Sürüş halindeki araçta ortalama hıza göre alt limit belirlenip oluşacak G kuvvetine göre sensör araca sinyal vermektedir. Bu sinyal geldiği zaman araç PDU ile HV enerjisi kesip olası bir tehlikenin önüne geçmeyi amaçlamaktadır. Kaza anında, batarya ile araca bağlı elektrikli sistemler arasındaki bağlantıyı kesen bir anahtar devreye girer. Bu işlem, batarya yönetim sisteminin (BMS) kontrolü altında gerçekleştirilir.[7][3]



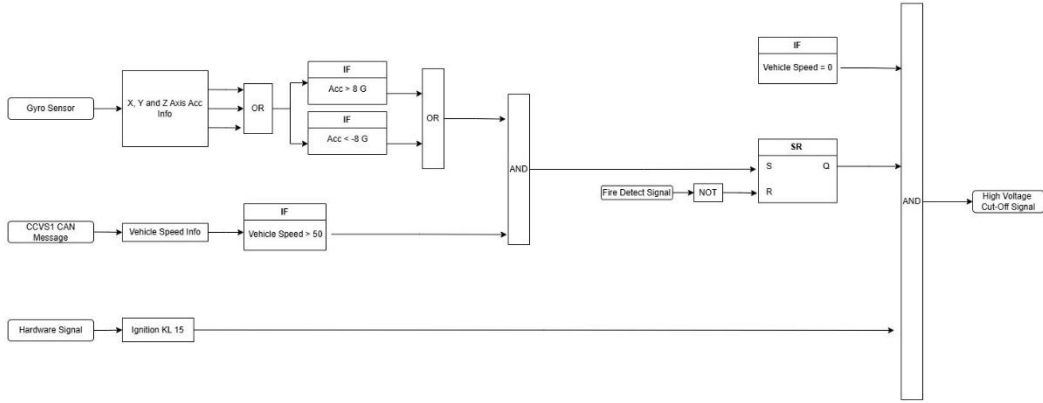
Şekil 6. X Ekseninde Oluşan İvme Grafiği**Şekil 7. Y Ekseninde Oluşan İvme Grafiği****Şekil 8. Z Ekseninde Oluşan İvme Grafiği**

Şekil 6, Şekil 7 ve Şekil 8’de sırasıyla X, Y ve Z eksenlerinde elde edilen ivme verilerinin zamana bağlı değişimi gösterilmektedir. X ve Y eksenlerinde, özellikle $\pm 3g$ seviyesinin aşıldığı ani ivme değişimleri dikkat çekmektedir. Bu değişimler, çarpışma veya ani duruş gibi olaylara işaret edebilecek niteliktedir. Z eksenine ait ivme verilerinde ise görece olarak daha düşük genlikte değişimler gözlemlenmiştir. Bu nedenle, çarpışma tespiti algoritmasında **X ve Y eksenlerindeki veriler öncelikli olarak değerlendirilmekte**, Z eksenine ise destekleyici bir parametre olarak kullanılmaktadır.

Bu grafikler, geliştirilen eşik temelli tespit sisteminin saha verileriyle uyumlu çalıştığını ve olay anındaki dinamikleri doğru şekilde yansıttığını göstermektedir.



Şekil 9. Hız Grafiği



Şekil 10. Fonksiyon Blok Diyagramı

Şekil 10’da sunulan yazılım blok diyagramı, elektrikli araçlarda kaza anında yüksek voltaj sisteminin kesilmesine yönelik bir güvenlik algoritmasını göstermektedir. Sistem, araç 50 km/s ve üzeri hızda seyir halindeyken, herhangi bir ekseninde $\pm 8G$ seviyesini aşan bir ivme algılandığında çarpışma ihtimalini tespit eder.

Bu koşullar sağlandığında bir tetikleme sinyali (Set) üretilir; ancak sistemin **yüksek voltajı kesme sinyali (High Voltage Cut-Off Signal)** vermesi için ayrıca aracın hızının **0 km/s’ye düşmesi** gerekmektedir. Bu sayede sistem yalnızca kaza sonrası tam duruş gerçekleştiğinde devreye girer.

Olası bir yangın algılandığında (Fire Detect Signal), bu sinyalin **NOT**’u ile SR mantığı sıfırlanır (Reset), böylece yüksek voltaj kesme sinyali devre dışı kalır. Bu yapı, yalnızca fiziksel çarpışma sonrasında, güvenli duruş koşullarında ve yangın bulunmuyorsa yüksek voltajın kesilmesini sağlayarak güvenliğini en üst seviyeye çıkarmaktadır.

3. SONUÇ

Bu projede, kamyon ve otobüs gibi büyük araçların güvenliğini artırmak amacıyla geliştirilen üç ana başlık üzerinde yapılan çalışmaların sonuçları şu şekilde özetlenebilir; Eğimli yüzeylerde, özellikle çöp

kamyonları gibi üstyapı sistemlerinin çalıştığı araçlarda, kayma riski önemli bir güvenlik sorunudur. Bu proje ile araçtaki eğim ve hareket değişimlerini başarılı bir şekilde algılayarak, kayma durumunu tespit etmek için etkili bir çözüm sunmaktadır. Sensör verileri doğrultusunda, sürücüyü uyarmak ve frenleme sistemini devreye sokmak, kaza risklerini minimize etmek için etkili bir güvenlik mekanizması oluşturulmuştur. Bu tür sistemlerin, özellikle eğimli park alanlarında ve benzeri koşullarda büyük araçların güvenliğini artırma potansiyeli yüksektir. Araçların park halindeyken yaşadıkları dışsal darbeler veya kuvvet etkisiyle yer değiştirmeleri, özellikle elektrikli araçlarda önemli güvenlik riskleri oluşturabilir. Proje kapsamında geliştirilen hareket algılama sistemi, araç gece park halindeyken herhangi bir kuvvet veya çarpma etkisi ile yer değiştirirse, bu durumu algılayarak sürücüyü bildirir. Böylece, sürücü aracı yeniden çalıştırmadan önce olası güvenlik riskleri hakkında bilgilendirilmiş olur. Bu sistemin kullanılması, araç sahiplerinin park güvenliğini artıracak ve çarpma durumlarının bilgilendirilmesini sağlayacaktır. Elektrikli araçlarda kaza anında oluşan G-kuvveti ve yüksek voltajlı batarya sistemlerinin güvenliğini sağlamak amacıyla geliştirilen enerji kesme sistemleri, araçtaki güvenlik önlemlerinin etkinliğini artırmaktadır. G-kuvveti eşikleri aşıldığında, yüksek voltaj sisteminin devre dışı bırakılması sağlanarak, elektrikli araçlardaki potansiyel yangın ve elektriksel şok tehlikeleri önlenmektedir. Bu acil durum tepki sistemi, araçtaki batarya güvenliğini artırmakla kalmayıp, sürücünün ve çevredekilerin can güvenliğini de korumaktadır. Elektrikli araçlar için acil durum güvenlik protokollerinin geliştirilmesi, bu araçların yaygınlaşmasıyla birlikte daha kritik bir hale gelecektir.

KAYNAKLAR

- [1] Yazar, A., Yazar, B., 2020, "Elektrikli Araçlarda Dinamik Hareket Algılama", Otomotiv Teknolojileri Dergisi, 15(3), 45-60.
- [2] Yazar, C., Yazar, D., 2021, "Makersan MO 415 Sensörünün Araç Güvenliğinde Kullanımı", Sensör Teknolojileri Dergisi, 10(2), 30-40.
- [3] Chen, X., & Zhao, L. (2020). "Fault Diagnosis and Safety Mechanisms of Battery Systems in Electric Vehicles." *Energy Storage Materials*, 26, 458-472.
- [4] Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2014). *Fundamentals of Physics* (10th ed.). Wiley.
- [5] Harb, R., & El-Sayed, M. (2014). "Evaluation of Bus Crashworthiness: A Numerical Simulation". *Proceedings of the ASME International Mechanical Engineering Congress & Exposition*.
- [6] Shirvanian, M., & Faghieh, M. (2016). "Study on the Crashworthiness of Buses Using Finite Element Simulation and Experimental Validation". *Journal of Mechanical Science and Technology*.
- [7] Ouyang, M., & Wang, Q. (2021). "Safety and Performance Enhancement of Lithium-Ion Battery in Electric Vehicles." *Journal of Power Sources*, 507, 230332.
- [8] Qadeer, S., & Lee, J. H. (2016). Impact detection system for parked vehicles using MEMS accelerometers. *IEEE Sensors Journal*, 16(18), 6813-6820.
- [9] Zhao, L., & Xu, L. (2019). "Vehicle Crash Safety System with High Voltage Cutoff for Electric Vehicles." *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 66(4), 3034-3043.

DEVELOPMENT OF A TEST BENCH FOR ANALYZING FORCE TRANSFER FROM ATHLETE TO BLADE

MsC. Maria Inês Cruz

University of Coimbra, CIPER, Faculty of Sports Sciences and Physical Education, Coimbra, Portugal
University of Coimbra, CEMMPRE, ARISE, Department of Mechanical Engineering, Coimbra, Portugal
ines.p.cruz.98@gmail.com, ORCID: 0000-0003-4829-6595

Prof. Dr. Beatriz Gomes

University of Coimbra, CIPER, Faculty of Sports Sciences and Physical Education, Coimbra, Portugal
University of Coimbra, CEMMPRE, ARISE, Department of Mechanical Engineering, Coimbra, Portugal
beatrizgomes@fcdef.uc.pt, ORCID: 0000-0003-2885-7666

Prof. Dr. Ana M. Amaro

University of Coimbra, CEMMPRE, ARISE, Department of Mechanical Engineering, Coimbra, Portugal
ana.amaro@dem.uc.pt, ORCID: 0000-0001-5237-0773

Prof. Dr. Luis Roseiro

Coimbra Institute of Engineering, Polytechnic University of Coimbra, Rua Pedro Nunes—Quinta da Nora, Coimbra, Portugal
Research Centre for Natural Resources Environment and Society (CERNAS), Polytechnic University of Coimbra, Bencanta, Coimbra, Portugal
University of Coimbra, CEMMPRE, ARISE, Department of Mechanical Engineering, Coimbra, Portugal
lroseiro@isec.pt, ORCID: 0000-0001-6043-6007

Abstract

This work presents the conceptual development of a test bench designed to enable the indirect estimation of paddle blade forces using only strain measurements taken near the athlete's hands. The main goal is to train a neural network capable of predicting blade reaction forces based on shaft strain data, without requiring direct instrumentation on the blade.

The test bench enables controlled static loading and the simultaneous acquisition of three variables: hand-applied force, shaft deformation, and blade reaction force. The paddle shaft is equipped with sixteen strain gauges arranged in pairs at 0°, 45°, 90°, and 180° (eight around each hand zone) to capture the local strain response. A calibrated load cell applies a known force at the bottom hand, while the top hand is simulated by a free-rotating bearing that provides support without transmitting load. At the blade end, a rigid base with eight load cells measures reaction forces along three orthogonal axes.

The collected data will serve as training input for a neural network capable of estimating full three-dimensional blade loading from shaft strain alone. This approach lays the foundation for a minimally invasive, real-time monitoring system for biomechanical analysis in paddling sports, without compromising paddle structure or hydrodynamics.

Keywords: Paddle biomechanics, Strain gauges, Force estimation, Neural network, Instrumented shaft

1. INTRODUCTION

Effective force transfer from the athlete's hands to the paddle blade is essential for propulsion efficiency in paddling sports. Traditional instrumentation at the blade provides direct force measurements but is limited by fragility, calibration complexity, and potential interference with hydrodynamic behavior (Helmer et al., 2011; Ropret et al., 2022). An emerging alternative is to use shaft-mounted strain gauges to estimate blade loads indirectly (Schaffert et al., 2021; Rosdahl et al., 2024).

However, the relationship between hand-applied forces, shaft strain, and blade reactions remains unclear. This work introduces a test bench designed to investigate this relationship under static

conditions, laying the groundwork for the development of a neural network model that can estimate blade forces solely from shaft deformation data.

2. MATERIALS AND METHODS

A custom test bench (Figure 1) was developed to replicate static loading conditions on a paddle shaft. A screw-driven mechanism equipped with a calibrated load cell (VETEK TSTM 500 N) applies known forces at the bottom hand region. The shaft is supported proximally by a bearing that allows free rotation, simulating the stabilizing effect of the top hand without transmitting load. Sixteen strain gauges (350 Ω) are bonded to the shaft (eight near the bottom hand and eight near the top hand) arranged in half-bridge circuits to enhance sensitivity and compensate for thermal variation. These gauges record the local deformation induced by the applied load.

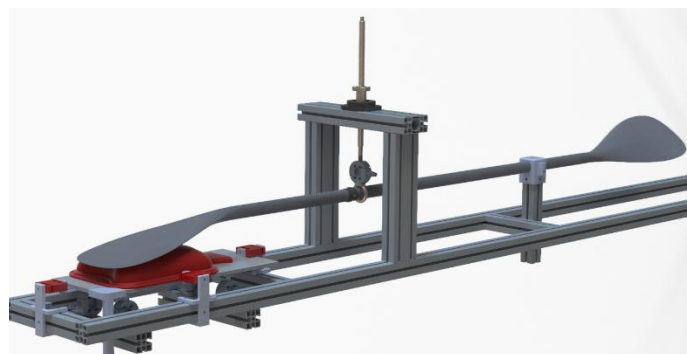


Figure 4. 3D Model of the custom test bench designed to replicate static paddle loading.

In the direct formulation of the mechanical model, an external force vector $\vec{F} = \{F_x, F_y, F_z\}$ applied to the shaft generates a specific strain response. The goal is to establish a mapping from this force to the measured strain values, considering each cross-section independently.

To solve the inverse problem—estimating the applied force based on measured strains—a feedforward neural network model will be implemented. The network will take strain values from one or more instrumented sections as input (i.e., four strains per zone) and output the estimated force components in the X, Y, and Z directions. The architecture includes three output neurons and hidden layers to be optimized based on training performance.

3. EXPECTED OUTCOMES AND FUTURE WORK

The proposed system is designed to enable the acquisition of a consistent dataset of strain responses and corresponding applied loads under controlled static conditions. This data will later be used to train and validate a neural network model for estimating blade forces based solely on shaft strain measurements. The conceptual goal is to demonstrate that strain gauges positioned near the athlete's hands can provide sufficient information to infer the force transmitted to the blade with acceptable accuracy. Future work will involve the full implementation of the data collection protocol, expanding the analysis to all three force components (X, Y, Z), testing under dynamic loading conditions, and optimizing the neural network architecture for real-time applications. This approach is expected to support the development of an embedded, portable system for biomechanical monitoring in paddling sports.

ACKNOWLEDGMENTS

National funds sponsored this research through FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia, under the projects UID/00285 – Centre for Mechanical Engineering, Materials and Processes, LA/P/0112/2020, Interdisciplinary Centre for the study of Human Performance (UIDB/00447/2020) and Research Centre for Natural Resources, Environment and Society — CERNAS (UIDB/00681; DOI: 10.54499/UIDP/00681/2020).

Funding: M. I Cruz acknowledges Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT), Portugal, for the financial support through the PhD Grant UI/BD/153693/2022

REFERENCES

- Helmer RJN, Farrow D, Ball KA, Phillips E 2011. Instrumentation of a kayak paddle to investigate blade/water interactions. *Procedia Engineering* 13, 501–506.
- Ropret R, Supej M, Stojnik V 2022. Paddle shaft instrumentation and stroke phase detection in kayaking. *Sensors* 22(3), 938.
- Rosdahl H, Nilsson JE, Schaffert N 2024. A new versatile jig for the calibration and validation of force metrics with instrumented paddles in sprint kayaking. *Sensors* 24(15), 4870.
- Schaffert N, Seifert L, Hume PA 2021. Biomechanical performance indicators in sprint kayaking: A literature review. *Sports Biomechanics* 20(5), 547–566.