



ADIYAMAN ÜNİVERSİTESİ

Mühendislik Bilimleri Dergisi

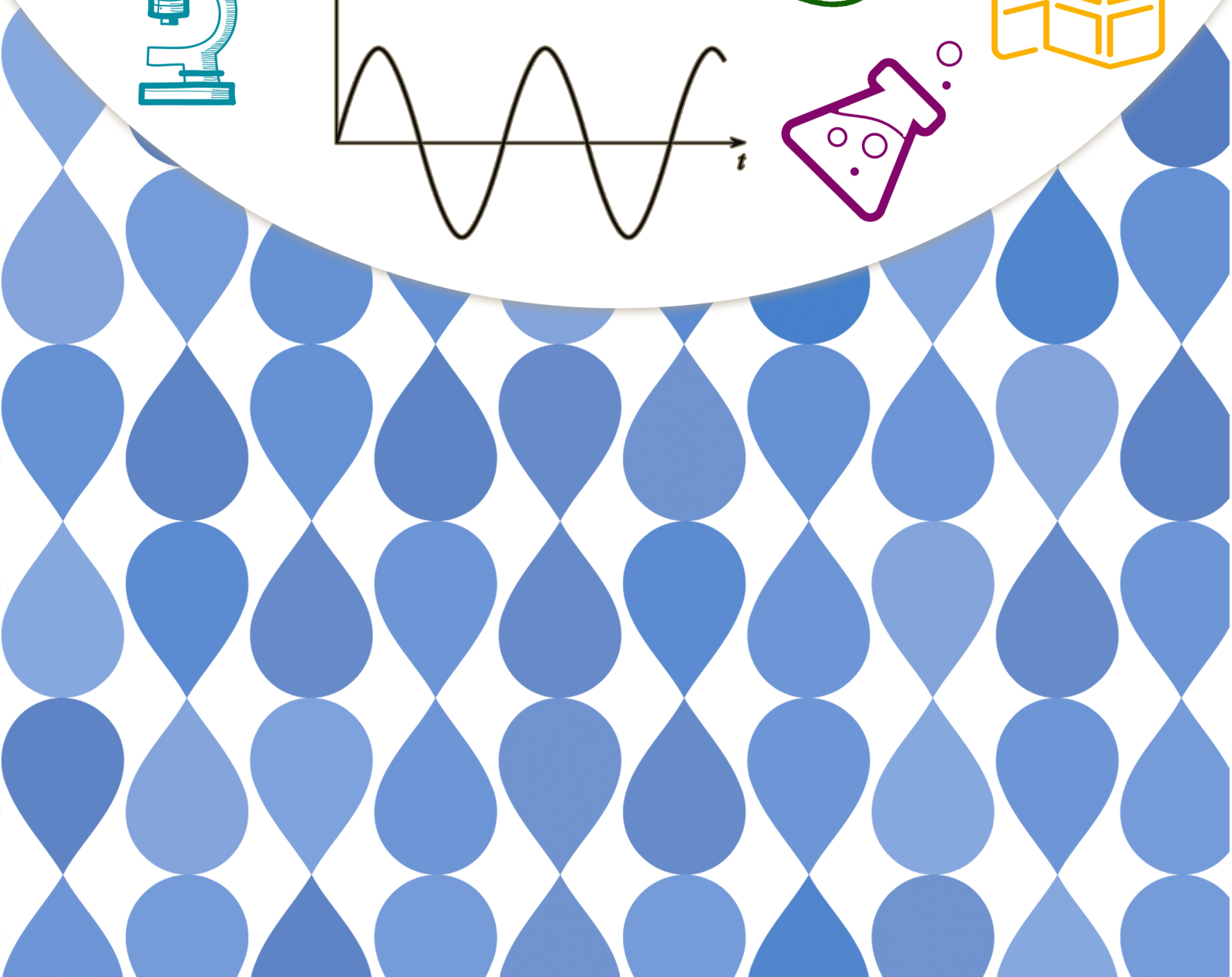
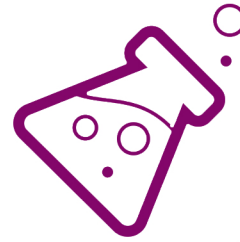
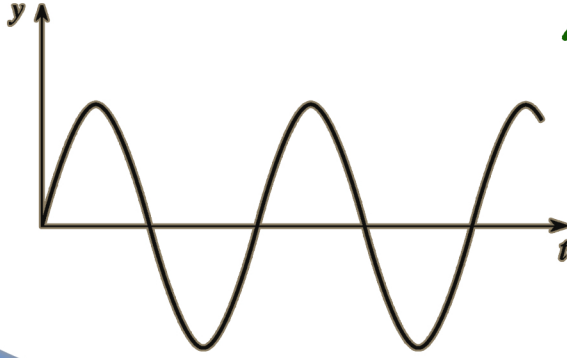
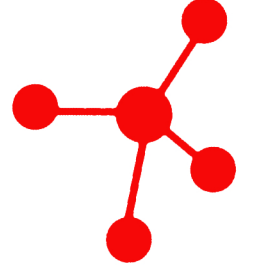
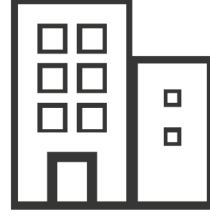
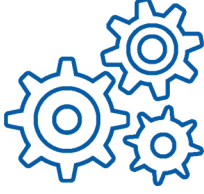
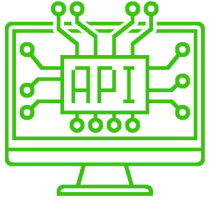
Journal of Engineering Science
of Adiyaman University

ISSN: 2149-0309

CİLT
VOLUME 9

SAYI
ISSUE 16

NİSAN
APRIL 2022



ADIYAMAN ÜNİVERSİTESİ

Mühendislik Bilimleri Dergisi

Journal of Engineering Science of Adiyaman University

ISSN: 2149-0309

Dergi Yöneticisi

Prof. Dr. Murat PALA

Cilt:9 Sayı:16

Baş Editör

Prof. Dr. Murat PALA / Baş Editör ve Alan Editörü

Editörler

Prof. Dr. Leon JOLOLIAN / Alan Editörü

Assist. Prof. Dr. Oksana KOPLAK / Alan Editörü

Dr. Thomas FEGGELER / Alan Editörü

Prof. Dr. Tanju TEKER / Alan Editörü

Doç. Dr. Harun TÜRKMENLER / Alan Editörü

Doç. Dr. Şerif ÇİTİL / Alan Editörü

Dr. Öğr. Üyesi Miraç UÇKUN / Alan Editörü

Dr. Öğr. Üyesi Saadin OYUCU / Alan Editörü

Arş. Gör. Abuzer DOĞAN / Alan, Mizanpaj ve Dil Editörü

Arş. Gör. Dr. Musa EŞİT / Alan Editörü

Yazışma Adresi / Correspondence

Address - Adiyaman Üniversitesi

Mühendislik Fakültesi Dekanlığı

e-mail: mbd@adiyaman.edu.tr

Tel: 0 (416) 223 38 08

Fax: 0 (416) 223 38 09

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/adyumbd>

YAYIN KURULU/ EDITORIAL BOARD

- 1-Prof.Dr. Şemsettin TEMİZ(İnönü Üniversitesi)
- 2-Prof.Dr. Murat DEMİR AYDIN (Erzurum Teknik Üniversitesi)
- 3-Prof.Dr. İbrahim TÜRKMEN (İnönü Üniversitesi)
- 4-Prof.Dr. Naci ÇAĞLAR(Sakarya Üniversitesi)
- 5-Prof.Dr. Abdulkadir ÇEVİK(Gaziantep Üniversitesi)
- 6-Prof.Dr. Seyhan FIRAT (Gazi Üniversitesi)
- 7-Prof.Dr. Hasan OKUYUCU(Yıldırım Beyazıt Üniversitesi)
- 8-Prof.Dr. Eyüp DEBİK..... (Yıldız Teknik Üniversitesi)
- 9-Prof.Dr. Yusuf TUNÇTÜRK..... (Yüzüncü Yıl Üniversitesi)
- 10-Prof.Dr. Nevzat ARTIK..... (Ankara Üniversitesi)
- 11-Prof.Dr. Hamit ADİN (Batman Üniversitesi)
- 12-Doç.Dr. Halef DİZLEK(Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi)
- 13-Doç. Dr. Yaşar AYAZ(İnönü Üniversitesi)
- 14-Doç. Dr. Aysun ŞENER.....(Adana Bilim Teknoloji Üniversitesi)

DANIŞMA KURULU/ ADVISORY BOARD

- 1-Prof. Dr. Şemsettin TEMİZ(İnönü Üniversitesi)
- 2-Prof. Dr. Ergün ERÇELEBİ.....(Gaziantep Üniversitesi)
- 3-Prof. Dr. İbrahim TÜRKMEN(İnönü Üniversitesi)
- 4-Prof. Dr. Naci ÇAĞLAR(Sakarya Üniversitesi)
- 5-Prof. Dr. Abdulkadir ÇEVİK.....(Gaziantep Üniversitesi)
- 6- Prof. Dr. Eyüp DEBİK.....(Yıldız Teknik Üniversitesi)
- 7- Prof. Dr. Sema Koç KAYHAN(Gaziantep Üniversitesi)

ALAN EDİTÖRLERİ / SECTION EDITORS

| | | |
|---------------------------------|------------------------------|--|
| Prof. Dr. Murat Pala | pala@adiyaman.edu.tr | İnşaat Mühendisliği , Deprem, Betonarme |
| Prof. Dr. Atilla AKKOYUNLU | akkoyun@boun.edu.tr | Çevre Bilimleri ve Mühendisliği |
| Dr. Öğr. Üyesi Bayram YURT | byurt@bingol.edu.tr | Gıda Bilimleri ve Mühendisliği |
| Dr. Öğr. Üyesi Faruk KÜRKER | fkurker@adiyaman.edu.tr | Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Elektrik Enerjisi ve Güç Sistemleri, Elektrik Tesisleri |
| Doç. Dr. Mehmet Fatih DİLEKOĞLU | dilekoglu@harran.edu.tr | Çevre Bilimleri ve Mühendisliği, Çevre Kimyası, Su Kaynakları Yönetimi, Su ve atıksu arıtma |
| Doç. Dr. Harun TÜRKMENLER | hturkmenler@adiyaman.edu.tr | Arıtma Tesisi Tasarımı, Çevre Kimyası, Su ve atıksu arıtma, Toprak Kirliliği ve Kontrolü, Yenilenebilir Enerji Kaynakları |
| Prof. Dr. İsmail BOZKURT | ibozkurt@adiyaman.edu.tr | Makine Mühendisliği, Enerji, Termodinamik, Yenilenebilir Enerji Sistemleri |
| Prof. Dr. Kerim KÜÇÜK | kerim.kucuk@deu.edu.tr | Maden Mühendisliği, Kaya Mekaniği ve Tahkimat, Maden Tasarımı, İşletme ve Ekonomisi, Madencilik Yöntemleri ve Maden Sistem Analizi, Madenlerde İş Güvenliği ve İşçi Sağlığı |
| Dr. Öğr. Üyesi Miraç UÇKUN | m.uckun@adiyaman.edu.tr | Gıda Bilimleri ve Mühendisliği |
| Arş. Gör. Dr. Musa EŞİT | mesit@adiyaman.edu.tr | Atmosfer Bilimleri, Hidroloji |
| Doç. Dr. Mustafa ASLAN | maslan@harran.edu.tr | Su ve atıksu arıtma, Yenilenebilir Enerji Kaynakları |
| Dr. Öğr. Üyesi Saadin OYUCU | saadinoyucu@adiyaman.edu.tr | Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği, Bilgisayar Sistem Yazılımı, Bilgisayar Yazılımı, Gömülü Sistemler, Veri Tabanları, Yapay Zeka |
| Doç. Dr. Senem TEKİN | senemtekin@adiyaman.edu.tr | Yer Bilimleri ve Mühendisliği, Deprem, Uygulamalı Jeoloji |
| Doç. Dr. Şerif ÇİTİL | scitil@adiyaman.edu.tr | Makine Mühendisliği |
| Doç. Dr. Seval UYANIK | suyanik@adiyaman.edu.tr | Tekstil Bilimleri ve Mühendisliği |
| Doç. Dr. Mihrimah ÖZMEN | mihrimah@erciyes.edu.tr | Endüstri Mühendisliği, Yöneylem Araştırması |
| Arş. Gör. Dr. Yavuz KAHRAMAN | ykahraman@adiyaman.edu.tr | Endüstri Mühendisliği, Yapay Öğrenme, Yapay Zeka, Çok kriterli Karar verme, Karar Destek Sistemleri |
| Prof. Dr. Zuhale KARAGÖZ | tanjuteker@cumhuriyet.edu.tr | İmalat Mühendisliği, Malzeme Teknolojileri |
| Doç. Dr. Zuhale KARAGÖZ | zgenc@adiyaman.edu.tr | Metalurji ve Malzeme Mühendisliği |
| Arş. Gör. Abuzer DOĞAN | abuzerdogan@adiyaman.edu.tr | Bilgisayar Mühendisliği |

İÇİNDEKİLER- CONTENTS

1- ACQUISITION OF AFRIN BRIDGE BASIN CHARACTERISTICS AND CURVE NUMBER
METHODOLOGY VIA GIS – “Research Article”

*AFRİN KÖPRÜSÜ HAVZASI ÖZELLİKLERİNİN VE EĞRİ SAYISI METODOLOJİSİNİN CBS İLE
BELİRLENMESİ – “Araştırma Makalesi”*

Kübra ÖZDEMİR, Muhammet Ömer DİŞ 1-9

2- İNSAN-ROBOT İŞ BİRLİĞİ İLE ÇOK AMAÇLI MONTAJ HATTI DENGEME – “Araştırma
Makalesi”

*MULTI-OBJECTIVE ASSEMBLY LINE BALANCING WITH HUMAN-ROBOT COLLABORATION –
“Research Article”*

Ayşe Nur KARACAN, Halil İbrahim ŞAHİN, Mihrimah ÖZMEN 10-36

3- LEVY UÇUŞLU MEYVE SİNEĞİ ALGORİTMASI İLE GÖRÜNTÜ SIKIŞTIRMA – “Araştırma
Makalesi”

IMAGE COMPRESSION BY LEVY FLIGHT FRUIT FLY ALGORITHM – “Research Article”

İlker KILIÇ 37-48

4- KESİR DERECELİ TEMEL TRANSFER FONKSİYON YAPILARI İÇİN YAKLAŞIK ANALİTİK ZAMAN
CEVABI MODELİ – “Araştırma Makalesi”

*APPROXIMATE ANALYTICAL TIME RESPONSE MODEL FOR BASIC TRANSFER FUNCTION
STRUCTURES WITH FRACTIONAL ORDER – “Research Article”*

Ali YÜCE 49-60

5- ULTRA GENİŞ BANT UYGULAMALARI İÇİN TASARLANMIŞ BİR DÜZLEMSEL ELİPTİK TEK
KUTUPLU ANTEN – “Araştırma Makalesi ”

*A PLANAR ELLIPTICAL MONOPOLE ANTENNA DESIGNED FOR ULTRA WIDE BAND
APPLICATIONS – “Research Article”*

Göker ŞENER 61-68

6- EFFECTS OF PH AND CURRENT DENSITY ON MICROSTRUCTURE AND HARDNESS OF THE
COBALT-TUNGSTEN ALLOY – “Research Article”

*PH VE AKIM YOĞUNLUĞUNUN KOBALT-TUNGSTEN KAPLAMALARININ MİKROYAPI VE
SERTLİĞİNE ETKİLERİ – “Araştırma Makalesi”*

Kürşad Oğuz OSKAY 69-77

7- BURULMAYA MARUZ FARKLI TİPTEKİ BORU BİNDİRME BAĞLANTILARININ MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ – “Araştırma Makalesi ”

INVESTIGATION OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF DIFFERENT TYPES OF PIPE LAPPING CONNECTIONS SUBJECT TO TORSION – “Research Article”

Cüneyt YETKİN, Şerif ÇİTİL 78-87

8- DİYABETİK RETİNOPATİ TESPİTİ İÇİN ATOM ARAMA OPTİMİZASYONU İLE ÖZELLİK SEÇİMİ YÖNTEMİ– “Araştırma Makalesi ”

FEATURE SELECTION METHOD WITH ATOM SEARCH OPTIMIZATION FOR DETECTION OF DIABETIC RETINOPATHY– “Research Article”

Feyza ALTUNBEY ÖZBAY, Erdal ÖZBAY 88-104

9- ENERGY DISSIPATION SCALE FOR DAM PROTOTYPES– “Research Article”

BARAJ PROTOTİPLERİNDE DOLUSAVAK SU JETİ ENERJİ SÖNÜMLEME YÖNTEMİ– “Araştırma Makalesi”

Cüneyt YAVUZ 105-116

10- DETERMINATION OF QUALITY PROPERTIES OF TRADITIONAL ADIYAMAN CHEESE PRODUCED FROM SHEEP MILK – “Research Article”

KOYUN SÜTÜNDEN ÜRETİLMİŞ GELENEKSEL ADIYAMAN PEYNİRİNİN KALİTE ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ – “Araştırma Makalesi”

Leyla EREN KARAHAN, Aslı ÇELİKEL GÜNGÖR, Musa Serdar AKIN, Mutlu Buket AKIN, Huriye Gözde CEYLAN 117-128

11- THEORETICAL EXAMINATION OF ALTERNATIVE REFRIGERANTS FOR R410A IN A GROUND SOURCE HEAT PUMP ACCORDING TO ASHRAE CLASSIFICATION – “Research Article”

TOPRAK KAYNAKLI BİR ISI POMPASINDA R410A’YA ALTERNATİF SOĞUTUCU AKIŞKANLARIN ASHRAE SINIFLANDIRMASINA GÖRE TEORİK OLARAK İNCELENMESİ – “Araştırma Makalesi”

Abdullah KAPICIOĞLU 129-147

12- SİİRT’TE SATILAN TAVUK KANATLARDA BAZI BİYOKİMYASAL ÖZELLİKLERİN VE PATOJEN ÖZELLİKTEKİ YERSİNİA TÜRLERİNİN BELİRLENMESİ – “Araştırma Makalesi ”

DETERMINATION OF SOME BIOCHEMICAL CHARACTERISTICS AND PATHOGENIC YERSINIA SPECIES IN CHICKEN WINGS SOLD IN SIIRT “Research Article”

Bülent HALLAÇ, Osman KILINÇEKER 148-155

13- DEVELOPMENT OF TEST CORPUS WITH LARGE VOCABULARY FOR TURKISH SPEECH RECOGNITION SYSTEM AND A NEW TEST PROCEDURE – “Research Article”

TÜRKÇE KONUŞMA TANIMA SİSTEMİ İÇİN GENİŞ KELİME DAĞARCIĞINA SAHİP TEST VERİ KÜMESİNİN GELİŞTİRİLMESİ VE YENİ BİR TEST PROSEDÜRÜ – “Araştırma Makalesi ”

Saadin OYUCU 156-164

14- TBDY-2018’DE VERİLEN TASARIM SPEKTRUMLARININ ANITSAL YIĞMA YAPI SİSMİK DAVRANIŞINA ETKİSİ – “Araştırma Makalesi ”

THE EFFECT OF DESIGN SPECTRA GIVEN IN TBEC-2018 ON SEISMIC BEHAVIOR OF MONUMENTAL MASONRY STRUCTURE – “Research Article”

Fatih AVCİL, Ercan IŞIK, Hüseyin BİLGİN, Hayri Baytan ÖZMEN 165-177

15- KONİK YÜZEYLİ MALZEMELERİN YAPIŞTIRICI İLE BİRLEŞTİRİLMESİ VE MEKANİK DAVRANIŞLARIN İNCELENMESİ – “Araştırma Makalesi ”

JOINING CONICAL MATERIALS WITH ADHESIVE AND INVESTIGATION OF THE MECHANICAL BEHAVIORS – “Research Article”

Ünal KOCA, Şemsettin TEMİZ 178-193

16- Lactobacillus rhamnosus GG VE Bifidobacterium bifidum BB-12 İÇEREN YENİLEBİLİR FİLMLEİN KARAKTERİZASYONU –“Araştırma Makalesi ”

CHARACTERIZATION OF EDIBLE FILMS CONTAINING Lactobacillus rhamnosus GG AND Bifidobacterium bifidum BB-12 – “Research Article”

Huriye Gözde CEYLAN, Ahmet Ferit ATASOY 194-203

17- RECURRENT NEURAL NETWORK BASED MODEL DEVELOPMENT FOR WHEAT YIELD FORECASTING – “Research Article”

BUĞDAY VERİM TAHMİNİ İÇİN YENİLEMELİ SINIR AĞI TABANLI MODEL GELİŞTİRME – “Araştırma Makalesi ”

Halit ÇETİNER, Burhan KARA 204-218

18- DOĞRUSAL OLMAYAN YÜK BULUNAN TESİSLERDE GÜÇ FAKTÖRÜNE TOPLAM HARMONİK BOZULMANIN ETKİSİ – “Araştırma Makalesi ”

EFFECT OF TOTAL HARMONIC DISTORTION ON POWER FACTOR IN FACILITIES WITH NON-LINEAR LOADS – “Research Article”

Faruk KÜRKER..... 219-235

19- DONATILI GAZ BETON PANELLERİN ASİT VE SÜLFAT ETKİSİ ALTINDA EĞİLME
DAVRANIŞININ İNCELENMESİ– “*Araştırma Makalesi*”

*INVESTIGATION OF FLEXURAL BEHAVIOR OF REINFORCED AERATED CONCRETE PANELS
EXPOSED TO ACID AND SULPHATE– “Research Article”*

Derya BAKBAK 236-247

20- DİNAMİK ORTAMLARDA DERİN TAKVİYELİ ÖĞRENME TABANLI OTONOM YOL PLANLAMA
YAKLAŞIMLARI İÇİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZ– “*Araştırma Makalesi*”

*COMPARATIVE ANALYSIS FOR AUTONOMOUS PATH PLANNING APPROACHES BASED ON DEEP
REINFORCEMENT LEARNING IN DYNAMIC ENVIRONMENTS “Research Article”*

Ziya TAN, Mehmet KARAKÖSE 248-262

ACQUISITION OF AFRIN BRIDGE BASIN CHARACTERISTICS AND CURVE NUMBER METHODOLOGY VIA GIS

Kübra ÖZDEMİR¹, Muhammet Ömer DİŞ^{2*}

^{1,2} Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye
Geliş Tarihi/Received Date: 27.05.2021 Kabul Tarihi/Accepted Date: 25.02.2022 DOI: 10.54365/adyumbd.943684

ABSTRACT

By using remote sensing data, Geographic Information Systems (GIS) provide convenience in determining basin morphology and watershed planning studies. For this aim, the applicability of the Arc-GIS software in the Afrin Bridge Basin by processing the Digital Elevation Model (DEM) data using the hydrological analysis tools and watershed parameters (i.e. basin boundary, variation of elevation, drainage area, stream network, and slope) were investigated. Additionally, soil and Land Use/Land Cover (LULC) maps were attained using ORNL-DAAC and CORINE data sources with 250-m and 100-m spatial resolution, respectively. By combining these maps and basin characteristics, the Curve Number (CN) values, required parameters for the SCS-CN method used in the rainfall-driven runoff estimations, are mapped over the region. While acquisition of soil, LULC, CN maps and the stream morphology enables the basin to be evaluated together with climatological data, flood risks and hydrographs of the region can be determined.

Keywords: Curve Number, Digital Elevation Model, GIS

AFRİN KÖPRÜSÜ HAVZASI ÖZELLİKLERİNİN VE EĞRİ SAYISI METODOLOJİSİNİN CBS İLE BELİRLENMESİ

ÖZET

Uzaktan algılama verileri kullanılarak Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), havza morfolojisinin belirlenmesinde ve havza planlama çalışmalarında kolaylık sağlamaktadır. Bu amaçla, Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) verilerinin Arc-GIS yazılımının hidrolojik analiz araçları kullanılarak işlenmesiyle Afrin Köprüsü Havzasında uygulanabilirliği ve havzaya ait parametreler (havza sınırı, rakım değişimi, drenaj alanı, akım ağı ve eğim gibi) araştırılmıştır. Ek olarak, toprak ve Arazi Kullanımı/Arazi Örtüsü (AKAÖ) haritaları ise sırasıyla 250-m ve 100-m mekânsal çözünürlüklü ORNL-DAAC ve CORINE veri kaynaklarından yararlanarak elde edilmiştir. Bu haritaların ve havza özelliklerinin birleştirilmesiyle, yağış bazlı akışların tahminlerinde kullanılan SCS-CN yöntemi için gerekli olan, bölgeye ait Eğri Numarası (CN) değerleri haritalanmıştır. Toprak, AKAÖ ve CN haritalarının ve akarsu morfolojisinin belirlenmesi havzanın klimatolojik veriler ile birlikte değerlendirilmesine olanak sağlarken, bölgeye ait taşkın riskleri ve hidrografları belirlenebilir.

Anahtar Kelimeler: Eğri Numarası, Sayısal Yükseklik Modeli, CBS

1. Introduction

While water scarcity problems arise with the increase of water pollution and the decrease in the amount of usable water, natural disasters such as floods with the effects of other excess rainfall and irregular urbanization threaten the living creatures and the future of vital water. This situation affects scientific research and political decisions regarding to conservation and sustainability of water. This impact has created awareness of recognizing and understanding water as a natural resource [1]. The European Union Water Framework Directive (EU-WFD) declared the necessity for member and

e-posta¹ : kubraozdemir46@hotmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4373-7526>

* e-posta² : momerdis@ksu.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3347-5112> (Sorumlu Yazar)

wishing to become a member country to manage their water resources at basin scale [2]. The basin is a hydrological unit that explains the natural boundary of water resources and the movement of flow. It also determines the boundaries of existing areas in a hydrologically independent way [3-4]. Basins are emerging as suitable planning units for natural resource issues such as water quality, water reserve, aquatic life and many wildlife environments [5-6]. For this reason, the knowledge of the both hydrological and topographic characteristics of a basin is important in study of stream morphology, basin planning and management. Basin modeling programs are used as digital footer and supply very popular opportunities. The use of Geographic Information Systems (GIS), one of these computer programs, is increasing day by day and enables determining many features of the basin in a shorter and safer manner thanks to the integrated software [4,7].

Basin Land Use/Land Cover (LULC), soil, vegetation, drainage characteristics can be obtained from satellite images and other sources (i.e. terrain analysis, remote sensing, drone monitoring, and simulations), and processed after geometric corrections with GIS. The LULC map used in this study was obtained from the Copernicus Land Monitoring Service (CORINE) data source. CORINE is a program launched in 1985 aimed at collecting information for the European Union on priority issues related to the environment (i.e. air, water, soil, land cover, coastal erosion, biotopes). It is the management of the same basic data and the creation of a standard database for the purposes of determining environmental changes in land, rational management of natural resources and environmental-related policies in all European Environment Agency (EEA) member states in accordance with the criteria and classification system established by the EEA. According to the criteria and classification units of the EEA (44 classes), changes in LULC for monitoring land using satellite images are detected with the help of remote sensing and GIS [8]. Additionally, soil map data was obtained from the Oak Ridge National Laboratory Distributed Active Archive Center (ORNL-DAAC). The ORNL-DAAC for Biogeochemical Dynamics is a NASA Earth Observing System Data and Information System (EOSDIS) data center managed by the Earth Science Data and Information System (ESDIS) Project. The ORNL-DAAC is operated by Oak Ridge National Laboratory in Tennessee, and is a member of the Remote Sensing and Environmental Informatics Group of the Environmental Sciences Division (ESD) [9]. Later, these processed geomorphological data can be made available for use by modifying new data entry and analysis in the desired region [10]. Then, it is possible to determine water potentials and predict flood estimations using rainfall-runoff simulations by obtaining accurate basin characteristics with developing computer technology.

In this aim, numerous methods (i.e. Rational, Time-Area, Unit Hydrograph, Curve Number and etc.) have been developed in order to establish a relationship between rainfall and runoff. For example, the Rational Method that assumes rainfall intensity does not change temporally over the drainage area is widely used in urban areas [11]. The peak rate of the flow is reflected by the rainfall intensity, and peak flow rate values are determined based on the drainage area, rainfall intensity and flow coefficient [12]. On the other hand, the Time-Area Method, as its name suggests, has been developed based on the time step that takes into account the lag time of flow from a basin area divided into sub-basins to the outlet. The method converts an effective storm hyetograph into hydrograph [13]. Another method, the Unit Hydrograph (also called the Unit Graph Method), was developed in the 1930s by Sherman [14-15]. The procedure assumes that the discharge at any given time is proportional to the runoff volume, and that the time factors affecting the hydrograph shape are constant. Likewise, the Unit Hydrograph is a discharge hydrograph resulting from one-inch direct runoff due to precipitation uniformly and spatio-temporally distributed over the basin for a given period of time [16]. One of the most widely used rainfall-runoff model for routine design purposes is the Curve Number (CN) Method. This method is a popular rainfall-runoff model that links rainfall to runoff events assembling an empirical number depending on the land use, vegetation cover, hydrological soil group, and hydrological conditions of the region [11, 17].

Rainfall-driven runoff forecast, prediction of the flood risk situation, and existing water potential over a region is extremely vital importance for living things and decision-making mechanisms. For this purpose, basin geomorphological maps via GIS were determined in order to use the CN methodology, which has both national and international applicability and requires less data

parameters. The Afrin Bridge Basin, located Gaziantep and Kilis, was chosen for the convenience of access to data and the projects such as utilizing the existing water potential in the region with the dam. For this purpose, data (i.e. updated elevation, slope, LULC, soil, and CN maps) and their spatial distribution over the area can be processed quickly by using tools such as GIS in parallel with the developing technology; thus, possible flooding and time loss can be prevented. In the study, obtained Digital Elevation Model (DEM) from satellite data is applied in Arc-Hydro module by using Arc-GIS program. By processing DEM data into the module, the basin boundaries were determined by assessing the process steps of projection transfer, filling gaps in the DEM, acquiring the flow direction and accumulation maps, basin delineation, polygon conversion. By deriving slope, soil, LULC information, infiltration capacity, CN values were determined and mapped over the region. GIS provided a fast, economical and practical solution compared to classical methods in obtaining basin parameters.

2. Materials and Methods

Arc-GIS software was used to determine the basin boundaries and characteristics of the study area. Firstly, in this purpose, DEM data was obtained from the US Geological Survey (USGS) with 30x30 m spatial resolution [18]. After adding acquired DEM data into Arc-GIS software, slope, elevation analyzes, and basin delineation can be attained from it. It is impossible to transfer the physical earth, in the form of a sphere, to the map environment without any deterioration. The process of reducing the three-dimensional earth to two dimensions and representing it with the help of mathematical or geometric relations is called projection [19]. In the study, Universal Transversal Mercator (UTM) projection, frequently used in Turkey, applied. In this projection system, the world is divided into 60 slices at 6° intervals. Therefore, DEM data were adjusted to European Datum 1950 Zone 37N in accordance with the location of the region. In the DEM maps uploaded to the Arc-GIS software, the steps of projection transformation, filling the gap, determining the flow direction, and converting the flow accumulation to polygon format were done, respectively. Basin boundaries were determined as a result of these process steps.

Errors in DEM data are corrected by the Filling Gaps tool after the projection conversion is completed. As a result of this process, the water will discharge from the higher cell value to the lower one with ensuring the flow of water. Additionally, accurate determination of flow direction is the basis for determining the drainage structure of a basin. The D8 method, the earliest and simplest method for specifying flow direction, has been adopted in Arc-Hydro module. The cells are encoded according to the clockwise-running D8 algorithm developed by Jenson & Domingue [20]. This method is to assign flow from each pixel to one of its eight neighbors by determining the direction with the steepest downward slope. For this aim, the flow direction of each cell is determined. In this algorithm, each of the numbers 1 (East), 2 (Southeast), 4 (South), 8 (Southwest), 16 (West), 32 (Northwest), 64 (North), and 128 (Northeast) refers to one flow direction. Flow accumulation, on the other hand, refers to the amount of water accumulation in each cell of the basin and can be calculated by flow direction according to the natural laws of water movement. The flow accumulation counts the number of cells flowing into a given cell. Accordingly, areas with very high values are probably main streams or rivers whereas areas with lower values can be intermittent streams. Upstream drainage area in a given cell can be calculated by multiplying the flow accumulation value by the cell area. The cells of the resulting flow accumulation grid were used in the study to determine whether they were a part of a flow based on the size of the drainage area or the number of cells accumulated.

Once flow accumulation is complete, the basin can be delineated based on the State Hydraulic Works (DSI) flow gauging station point. The stream discharges at 36°48'27" N and 36°58'55" E outlet location and runoff observation are recorded at D19A006 Station operated by the DSI (Figure 1). As it can be seen from the figure, the study area is located within the borders of Gaziantep and Kilis provinces. The basin area and its characteristics can be determined with converting cellular data into

polygon format. The basin area is calculated from the attribute table and the total drainage area calculated as approximately 619 km².

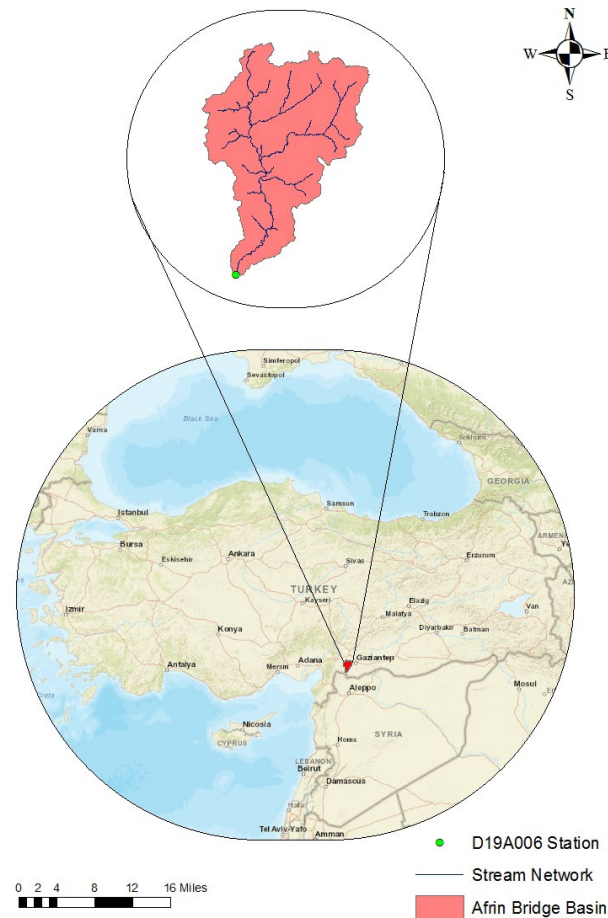


Figure 1. Location of the Study Area

The CN methodology, developed by the U.S. Natural Resources Conservation Service (NRCS), is applied to rainfall driven runoff simulations [16]. CNs values are a dimensionless parameter used in the estimation of the basin infiltration capacity, and rainfall-surface runoff potential. The values vary 0-100 (30-100 in practical) and determined based on basin geomorphological characteristics (i.e. soil map and LULC). The method uses LULC map and Hydrological Soil Group (HSG) information to derive CN values (Table 1). Therefore, the LULC map, produced from satellite images of the CORINE, obtained with 100 m spatial resolution [8]. Additionally, the soil information map downloaded from the ORNL-DAAC database with 250 m spatial resolution [9]. Then, it is added to Arc-GIS software to determine the soil map of the study area. HSG and LULC maps contain important information regarding to the basin runoff potential and basin infiltration capacity. Combining these maps play an important role in the preparation of the CN maps. The basin CN values are determined by combining the information regarding to basin characteristics additional to soil and vegetation maps of the basin. As it can be seen from the Table 1, CNs values can be determined based on these combined maps. HSGs can be divided into four different groups depending on region infiltration capacity and runoff potential. Among these four HSG characteristics, the soils in group-A have a high permeability value due to their sand or gravel content, even if they are moist. On the other hand, group-D is the soils with very high runoff potential and the smallest infiltration capacity. In other words, while the infiltration rate of the group-A is the highest, the infiltration rate towards the group-D decreases. Additionally, although the HSGs are the same, CNs values differ depending on LULC map for wetlands, forest areas, agricultural areas, and residential areas (Table 1). The obtained flow curve

numbers will allow the use of the most preferred Soil Conservation Service-Curve Number (SCS-CN) method in a hydrological model for rainfall-runoff modeling and determination of water potential. The flow diagram developed for the GIS-based determination of the basin morphological characteristics and the CN methodology obtained accordingly are given in Figure 2. As it can be seen from the figure, DEM, LULC, and HSG data sets are used to acquire CNs values and several steps done during this process.

Table 1. Curve Number According to Hydrological Soil Groups [21]

| Land Use /Land Cover | Curve Number According to HSG | | | |
|----------------------|-------------------------------|-----|-----|-----|
| | A | B | C | D |
| Medium Residential | 57 | 72 | 81 | 86 |
| Agricultural | 67 | 77 | 83 | 87 |
| Forest | 30 | 58 | 70 | 77 |
| Wetlands | 100 | 100 | 100 | 100 |

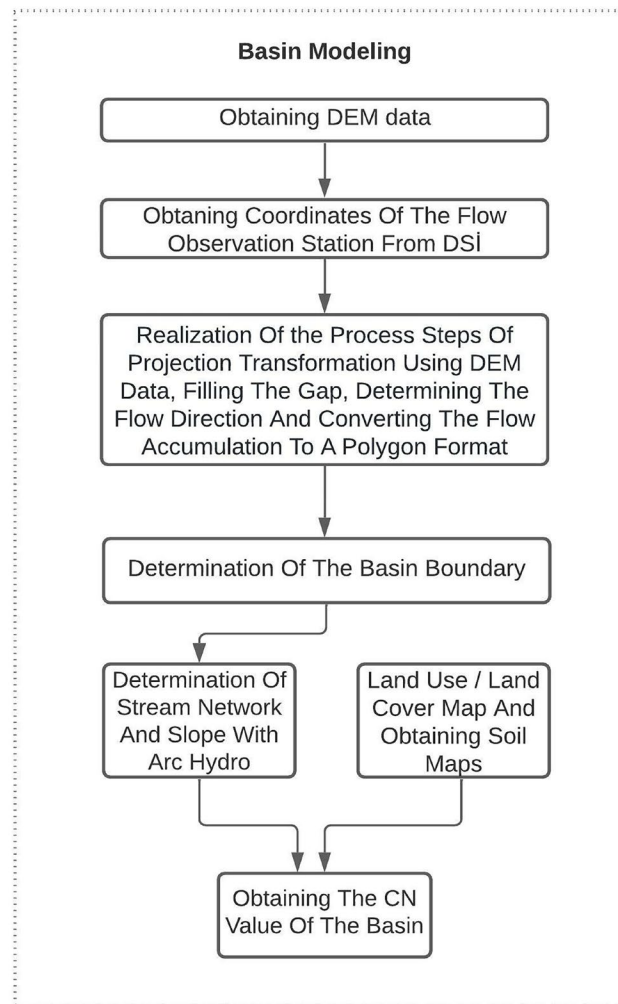


Figure 2. Flow Diagram for the Methodology

In order to find the rainfall-driven runoff in any region and period, the runoff depth, Q , [inches] can be derived by Equation 1 by using the water balance equation and the proportional equation hypothesis of the SCS-CN method [16]. In this equation, P represents rainfall depth [inches], and S [inches] known as basin's potential maximum retention after runoff begins. Where S is related to the HSG and LULC maps through the CNs and it is calculated by the following Equation 2. Acquiring

these maps and basin features can be used in a hydrological model combining with additional meteorological data (rainfall, temperature, evapotranspiration, wind and etc.), and surface flow and related flood risk/water resources potential can be estimated.

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad (1)$$

$$S = \frac{100}{CN} - 10 \quad (2)$$

3. Results and Discussions

The elevation of the basin ranges from 402 m to 1486 m with general elevation gradient accelerating from South to North and the outlet point of the basin is in the southwestern of the basin (Figure 3a). The basin slope, that determines the flow of water, is one of the important elements, and can be acquired based on the DEM data. Figure 3b shows the distribution of basin slope values. As can be seen from the Figure 3b, most of the slope values varies from 0 to 60% range over the region while the interval of 40-60% (0-20%) is dominant in the northwestern and southern (middle) part of the basin. It is expected that the surface runoff will be high in areas with high slope values while the amount of infiltration is anticipated to be high in areas with low slope values. The drainage network covers all tributaries of the streams, whether artificial or natural, permanent or temporary, participating in the flow. The amount of water flowing into the stream is directly proportional to the basin area and the precipitation. The drainage network system is a vectorial system and is created by taking into account flow direction maps [22-23]. Figure 3c shows the stream network of the Afrin Bridge Basin, represented with blue-colored lines. The total stream length in the region is 185.44 km.

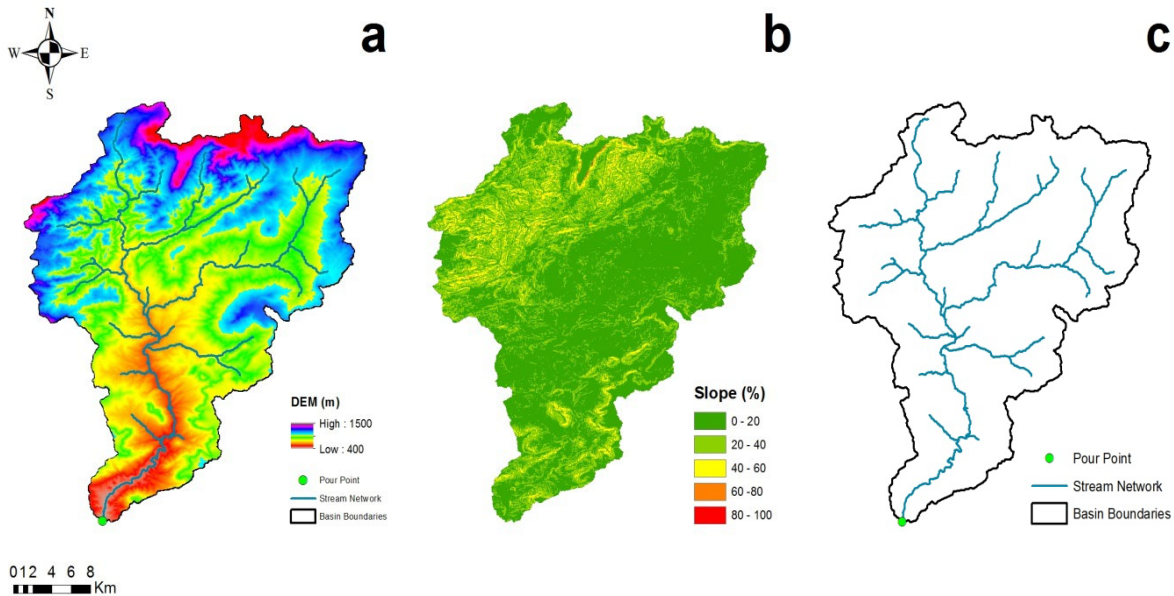


Figure 3.Basin Border, Slope Maps, and Stream Network, Respectively

As it can be seen from the Figure 4a, most of the basin consists of agricultural land. In order to facilitate the interpretation of the LULC map, the study area has been reclassified according to Başığit's CORINE land use map table [24]. According to the new map, the region is divided into four groups as agricultural land areas (64.90%), forest (34.90%), water body (0.20%), and residential areas

(0.09%) (Figure 4b). Soil map, additionally, is classified into four groups according to infiltration rates: A (the highest degree of infiltration capacity), B, C, and D (the lowest degree of infiltration capacity). These infiltration groups are shown in Figure 4c, as can be seen from the figure, most of the study area belongs to Group D. The distribution of CNs values over the region is presented in Figure 4d. As it can be recognized from the CN map, the numbers are between 30 and 100. The lowest values of the basin are indicated in gray and are located in the northwestern of the basin.

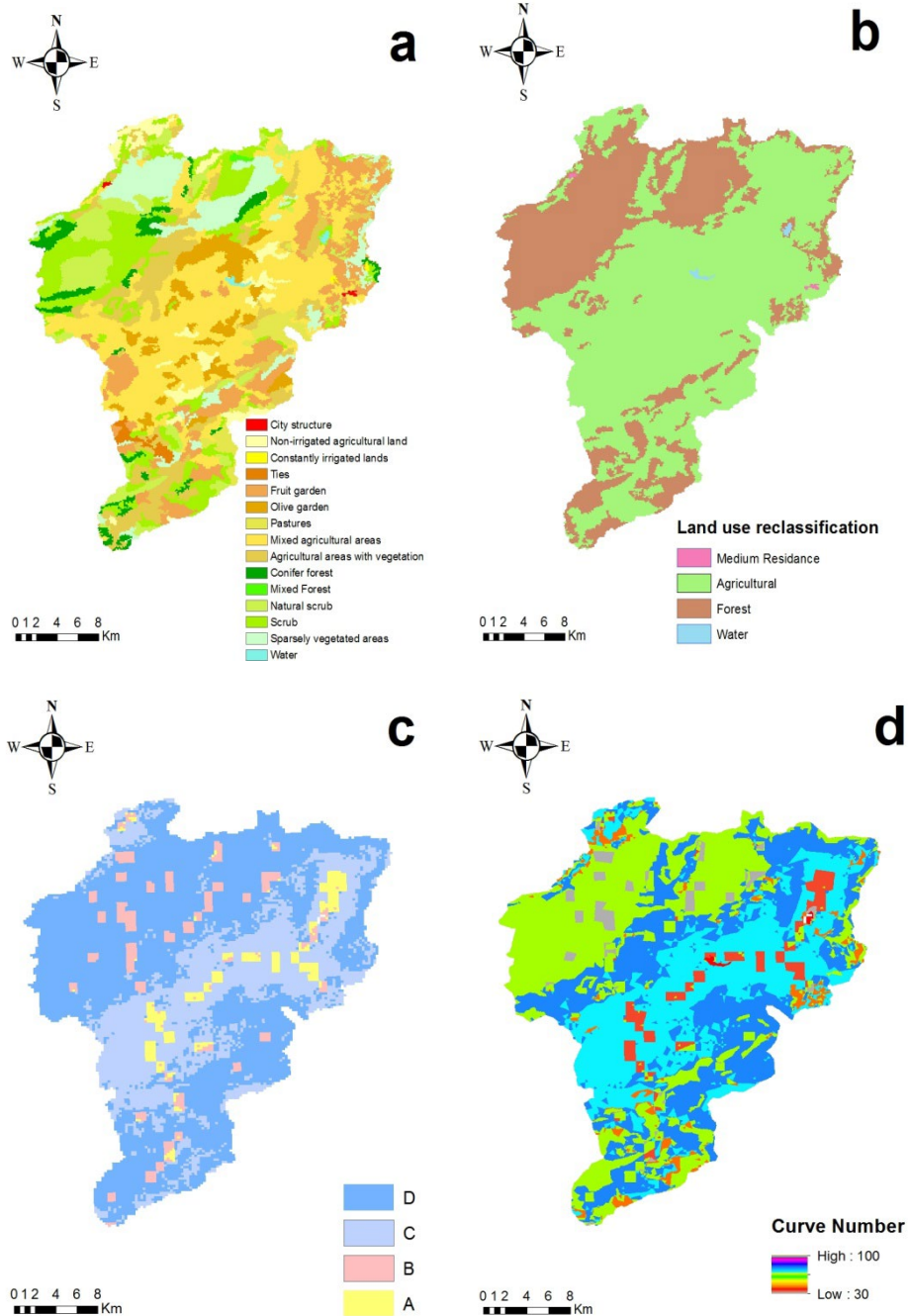


Figure 4. LULC, Reclassified LULC, Basin Soil, and CNs Maps, Respectively

4. Conclusions

In this study, the acquisition of basin parameters and geographical information systems of the Afrin Bridge Basin (619 km²) has been examined. As a first step, in basin planning studies, basin boundaries and associated parameters are quickly and practically obtained using hydrological analysis tools of the Arc-GIS software developed on the basis of GIS. DEM maps used in the study can be applied not only for the study region, but also for the entire region of Turkey. Determination of basin maps such as soil, land use, vegetation cover, and slope allow understanding basin characteristics and adding these obtained data recommends acquiring the parameters of basin runoff coefficients. The basin CN is a rainfall-runoff method established by the US Soil Conservation Service. For this method, it is necessary to know the soil map, LULC data over the basin. As can be seen from the HSG map, the majority of the basin consists of the groups-C and D, that refers the soil has very low permeability capacity. In addition, it is observed from LULC map, that the settlement area is low in the region while agricultural and forest areas are dominant. Combining these two maps result high CN values in the region. The combination uses of basin parameters (i.e. basin boundary, elevation, drainage area, flow network, slope, soil map, land use, vegetation cover, curve number and etc.) and meteorological data (i.e. precipitation, temperature and evapotranspiration) are promising the chance to simulate rainfall-runoff processes over the study area with a hydrological model with application of SCS-CN methodology. Water potentials and possible flood predictions can be analyzed with required calibration and validation of a hydrological model in the region.

References

- [1] Karadağ AA. Kovada Gölü Alt Havza Sınırlarının Belirlenmesi. Düzce Üniversitesi Ormanlık Dergisi 2012; 8(1): 58-76.
- [2] Directive of The European Parliament and of The Council of 23 October 2000 Establishing a Framework for Community Action in The Field of Water Policy. <http://www.managenergy.net> (Accessed 18.03.2021)
- [3] Mostaghimi S, Park SW, Cooke RA, Wang SY. Assesment of Management Alternatives on a Small Agricultural Watershed. Journal of Water Resources 1997; 31(8): 1867-1997.
- [4] Reis A, Dindaroğlu T. Havzalarda Bazı Hidrolojik Karakteristiklerin Archdyro Yazılımı Kullanılarak Belirlenmesi. Turkish Journal of Forest Science 2020; 4(1): 146-159.
- [5] Williams JE, Wood CA, Dombeck MP. Watershed Restoration: Principles And Practices Bethesda (MD). American Fisheries Society 1997.
- [6] Köseoğlu G, Özdemir B. CBS Teknolojilerinin Havza Sınırlarının Belirlenmesinde Karar Destek Mekanizması Olarak Kullanılması. Coğrafyacilar Derneği Yıllık Kongresi Bildiriler Kitabı. 19-21 Haziran, 2013; İstanbul, 238-245.
- [7] Yazıcı N, Babalık AA, Dursun İ. Havza Yönetiminde CBS ve Uzaktan Algılamanın Önemi. International Marmara Sciences Congress, Tam Metin Kitabı (Natural and Applied Sciences) (ISBN: 978-605-69509-6-4), 01-03 Kasım, 2019; Kocaeli, 256-261.
- [8] CORINE, Coordination of Information on the Environment, CORINE Land Cover Data Website. <https://land.copernicus.eu/>. (Accessed 10.10.2020).
- [9] ORNL-DAAC, Oak Ridge National Laboratory Distributed Active Archive Center, Soil Map Data Website. <https://daac.ornl.gov/>. (Accessed 11.12.2020).
- [10] Özdemir H. SCS-CN Yağış-Akış Modelinin CBS ve Uzaktan Algılama Yöntemleriyle Uygulanması: Havran Çayı Havzası Örneği (Balıkesir). Coğrafi Bilimler Dergisi 2007; 5(2): 1-12.
- [11] Dingman SL. Physical Hydrology. Upper Saddle River (2nd ed.). New Jersey: Prentice Hall; 2002.

- [12] Beven KJ. Rainfall-runoff modelling. The primer (2nd ed.). New Jersey: Wiley-Blackwell; 2012.
- [13] Ponce VM. Engineering Hydrology. Principles and Practices. New Jersey: Prentice Hall; 1989.
- [14] Sherman LK. Streamflow from Rainfall by the Unit-Graph Method. Engineering News Record 1932; 108: 501–505.
- [15] Sherman LK. The Hydraulics of Surface Runoff. Civil Eng 1940; 10:165–166.
- [16] Natural Resources Conservation Service & US Department of Agriculture –USDA. Hydrographs. Part 630: Hydrology. National Engineering Handbook; 2007.
- [17] Hawkins RH, Van Mullem JA, Ward TJ, Woodward DE. ASCE/EWRI Task Committee Report on the State of the Practice in Curve Number Hydrology. Draft report to the American Society of Civil Engineers; 2006.
- [18] Geographic Information Systems, Digital Elevation Model Data Website. <https://earthexplorer.usgs.gov/>. (Accessed 25.05.2020).
- [19] Çabuk A, Çabuk KM, Aksoy T, Şimşek B, Güney Y, Avdan U, Uyguçgil H, Çömert R. Coğrafi Bilgi Sistemlerine Giriş. Anadolu Üniversitesi Yayını No: 3752, Açıköğretim Fakültesi Yayını No: 2567, Eskişehir, 190s; 2018.
- [20] Jenson SK, Domingue JO. Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographical Information System Analysis. Photogrammetric Eng Remote Sensing 1988; 54: 1593-1600.
- [21] Halley MC, White SO, Watkins EW. ArcView GIS extension for estimating curve numbers, *ESRI User Conference*, 2000; San Diego, California.
- [22] Eraydın E, Çoşkun HG, Ağiralioğlu N. Uzaktan Algılama ve CBS Yöntemleri Kullanılarak Akış Eğri Numaralarından Eşen Çayı Havzası için Taşkınların Belirlenmesi. TUFUAB VIII. Teknik Sempozyumu, 21-23 Mayıs, 2015; Konya, 429-436.
- [23] Güler E. Hidroelektrik Potansiyel Belirlemeye Yönelik Uzaktan Algılama ve CBS Tabanlı Hidrolik Modelleme, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü, Fen Bilimleri, İstanbul; 2008.
- [24] Başyığıt L. CORINE Arazi Kullanım Sınıflandırma Sistemine Göre Arazi Kullanım Haritasının Hazırlanması: Isparta Örneği. Tarım Bilimleri Dergisi 2004;10(4): 366-374.

İNSAN-ROBOT İŞ BİRLİĞİ İLE ÇOK AMAÇLI MONTAJ HATTI DENGELEME

Ayşe Nur KARACAN¹, Halil İbrahim ŞAHİN², Mihrimah ÖZMEN^{3*}

^{1,2,3} Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kayseri, 38280, Türkiye

Geliş Tarihi/Received Date: 01.07.2021 Kabul Tarihi/Accepted Date: 03.01.2022 DOI: 10.54365/adyumbd.960059

ÖZET

Sanayi Devriminden itibaren, artan rekabete uyum sağlamak için robotlar üretimde ve montaj hatlarında insanların yanında yer almaya başlamıştır. İnsan ve robot birbirinden çok farklı dinamiklere sahip iki farklı yapı oldukları için montaj hattı dengeleme (MHD) problemi daha karmaşık hale gelmektedir. Robotik montaj hattı dengeleme (RMHD) literatürde güncel olarak çalışılan konular arasında yer almaktadır fakat insan robot iş birliği ile MHD problemi yeni bir çalışma alanıdır. Bu çalışmada insan-robot iş birliği ile montaj hattı dengeleme probleminin çözümü için yeni bir matematiksel model önerilmiştir. Önerilen modelde, literatürdeki RMHD çalışmalarından farklı olarak insanın ve robotun birlikte çalışması durumuna ek olarak aynı istasyona insan ve robot birlikte çalışmasının sakıncalı olduğu durumlar da dikkate alınmıştır. Gerçek hayatta montaj hatlarının performansı birbirleriyle çelişen birçok amaçla değerlendirilmektedir. Bütün bunlar göz önünde bulundurularak, insan robot iş birliği ile MHD problemine Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) ve hedef programlama tekniklerinin entegre edildiği çok amaçlı çözüm yaklaşımı önerilmiştir. Önerilen yaklaşımda, robot/insan çalışan maliyeti, çevrim süresi ve iş istasyonu sayısının minimize edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçların öncelik sıralamaları üretilen ürüne, firmaya vb. sebeplerden dolayı farklılık göstermektedir. Bu nedenle üç amacın önem sırasından bağımsız olarak optimal MHD çözümü bulunmuştur. Amaçların bütün farklı önem sırasının kombinasyonu için model sırasıyla GAMS yazılımı ile çözdürülerek sonuçlar elde edilmiştir. Sonuçlar, altı kriter (robot/insan çalışan maliyeti, çevrim süresi, iş istasyonu sayısı, hat etkinliği, düzgünlük indeksi ve denge gecikmesi) açısından ÇKKV yaklaşımları olan BWM- MABAC sonuçlarına göre en iyi MHD seçeneği belirlenmiştir. Kriter ağırlıklarının duyarlılık analizi yapılarak, kriter ağırlıklarının sonuçlarının sağlamlığı incelenmiştir. Önerilen yaklaşım örnek veri seti üzerinde uygulanmış ve sonuçları analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çok amaçlı optimizasyon, İnsan-Robot İş Birliği ile Montaj Hattı, ÇKKV, BWM-MABAC

MULTI-OBJECTIVE ASSEMBLY LINE BALANCING WITH HUMAN-ROBOT COLLABORATION

ABSTRACT

Since the Industrial Revolution, robots have started to take their place alongside humans in production and assembly lines in order to adapt to the increasing competition. Since human and robot are two different structures with very different dynamics, the assembly line balancing (ALB) problem becomes much more complex. With the human-robot collaboration ALB problem is a new field of study and yet there are limited studies on this subject. In this study; a new mathematical model has been proposed to solve the problem of the ALB with the human/robot cooperation. In the proposed model it is paid attention to situation of human and robot working together in addition to the unfavorable situations of human/robot cooperation. In real life, the performance of assembly lines is evaluated for many conflicting objectives. Considering all these, a multi-objective solution approach is proposed in which Multi-Criteria Decision Making (MCDM) and goal programming techniques are integrated to the human-robot co-operation for ALB problem. In the proposed approach, it is aimed to minimize the robot/human employee cost, cycle time and number of workstations. The order of priority of these objectives differs for reasons of the product produced, the company, etc. Therefore the optimal ALB solution was found regardless of the importance

¹ e-mail: ayseurkaracan38@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3942-4831>,

² e-mail: halilshn112@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9649-816X>,

^{3*} e-mail: mihrimah@erciyes.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2648-5865> (Sorumlu Yazar),

of three points. The results have been obtained using the GAMS software solving with respect to the model, of the combination of 'objectives' all different importance order. The results determined the best ALB option based on the results with the perspective of BWM-MABAC MCDM approaches of six criteria (robot/human worker cost, cycle time, number of workstations, line efficiency, smoothness index, and balance delay). Sensitivity analysis of criterion weights examined the robustness of the results of criterion weights. The proposed approach was applied on the sample data set and the results were analyzed.

Keywords: Multi-objective optimization, Human- Robot Mixed Assembly Line, Multi-Criteria Decision Making, BWM-MABAC

1. Giriş

Son zamanlarda, üretimdeki teknolojinin ve küresel rekabetin artması sebebiyle üretimde tasarımın gerekliliği öne çıkmaktadır. Bu sebeple firmalar artan müşteri taleplerine cevap vermek, yüksek talep miktarlarını karşılayabilmek ve yeni ürünler geliştirebilmek için esnek bir montaj hattına ihtiyaç duymaktadır. Bu noktada ise Endüstri 4.0 devreye girmekte ve rekabetin yönü üretim süreçlerinde sanallaşmaya geçişi teşvik etmektedir.

1700' lerin sonu 1800' lerin başından itibaren teknolojinin ilerlemeye başlamasıyla robotlar kullanılmaya başlanmıştır. Robotlar, küresel rekabette üstün bir rol oynamakta ve firmaların robotları etkin kullanımı sonucunda rakiplerinden daha öne geçtikleri görülmektedir. Robotlar, özellikle montaj hatlarında etkin bir rol üstlenmektedir. Robotların montaj hattında üstün bir rol almaya başlamasından sonra firmaların karşılaştığı birçok problem ortaya çıkmaya başlamış ve bu durumlara çözüm bulmak amacıyla yeni çalışma alanları oluşmuştur. Robotların nasıl çalıştırılacağı, ne kadar süre ile çalıştırılacağı, hangi istasyonda hangi robot türünün çalıştırılması gerektiği, robot verimliliği, robot satın alma maliyeti, robot kurulum maliyeti ve benzeri gibi birçok problemden söz edilebilir. Bu ve bunun gibi problemleri en kısa zamanda ve en doğru şekilde cevaplayabilen işletmeler daha çok kazanmışlardır. Firmaların problemlerini en doğru ve en kısa zamanda cevaplayabilmelerine yardımcı olmak için literatürde birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar literatürde MHD, RMHD, Hedef Programlama gibi bölümlerde incelenmektedir.

Montaj hatları üretilecek olan ürünün parçalarının bir hat üstünde üretilmeye başlanıp, birleştirilip son mamule dönüştürüldüğü, bağlantılı olan istasyonlardan oluşan sistemin genel adıdır. Günümüzde üretim ya da hizmetlerde maliyeti azaltmak ve verilen ürün ya da hizmetlerin daha az maliyetle daha hızlı üretilmesi için her sektörden şirketler arasında gittikçe artan bir rekabet vardır. Bu rekabette önemli adımların atılabilmesi için bu montaj hatlarının iyileştirilmesi önemli bir unsurdur. Şirketler, montaj hatlarında, çevrim zamanının aşılması, istasyon sayılarının tutarsızlığı, düzenli bir malzeme akışının sağlanamaması, taleplerin vaktinde karşılanamaması, istasyonlarda eşit bir iş yükünün sağlanamaması vb. birçok problemle karşılaşmaktadır. Bu problemleri en aza indirebilen şirketler hep bir adım önde olmaktadır.

Robotik montaj hatları, montaj hatlarında üretilecek olan ürünlerin parçalarının bir hat üstünde üretilmeye başlandığı istasyonlarda, bu parçaların birleştirilip son mamule dönüştürüldüğü istasyonlarda ve başka birçok farklı istasyonlarda endüstriyel robotların kullanılmasıyla oluşmaktadır. Robotik montaj hatları, sadece robotlardan oluşabildiği gibi insan-robot eş zamanlı çalışmasıyla da oluşabilmektedir.

İnsan-Robot İş Birliği ile MHD Problemi hakkında literatür çalışmaları yok denecek kadar azdır. Problemin endüstride yeni ortaya çıkması bu durumun nedeni olarak sayılabilir.

Literatürde bu konuyla ilgili ilk çalışma 2009 yılında Krüger ve ark. [1] tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada, bütün robotik sistemleri detaylı bir şekilde teorik olarak açıklamışlardır. İnsan-robot çalışmasının söz konusu olduğu tüm durumları inceleyip, insan-robot iş birliği ile montaj hatlarını aşağıdaki gibi üç gruba ayırmışlardır. Bunlara ek olarak, görevleri ve iş alanlarını paylaşarak hücrenel üretimde insan-robot iş birliğini incelemişlerdir.

- Hibrit montaj, insanın ve robotun birlikte çalışması durumu,

- İnsan-robot aynı iş alanının paylaşılması durumu, ya insan taşıma görevini yerine getirir ve robot montaj görevini yapar ya da robot taşıma görevini yerine getirir ve insan montaj işini yapar,
- İnsan- robot aynı iş alanı ve aynı görev süresi paylaşılması durumunda ise aynı iş alanının paylaşılması durumuna ek olarak insan-robot ortaklaşa bir taşıma görevini yerine getirebilir veya insan-robot ortaklaşa bir montaj görevini yerine getirebilir olarak farklı gruplara ayırmışlardır.

Tan ve ark.'nin [2] 2009 yılında yapmış oldukları çalışmanın temel amacı, görev modelleme yaklaşımı ile hücre üretiminde insan-robot iş birliğini geliştirmek olmuştur. Çalışmalarının güvenlik açısından iyileşmeye, güvenlik tasarımına ve üretim sisteminin geliştirilmesine yardımcı olduğunu göstermişlerdir. Kullanmış oldukları çok modlu bilgi destek sistemi altı gereksinimi kapsamaktadır; işletmenin temsili, alt faaliyetleri ve arasındaki ilişkiler, iş birliği rollerini ve işleyişini planlama, operasyon kaynakları bilgileri, güvenlik tasarımı, operasyon bilgi desteği ve performansını değerlendirme, ergonomi. Çok modlu bilgi destek sistemi aracılığıyla insan operatörünü, görev bileşenlerine karşılık gelen işlem bilgileri tarafından iyi bir şekilde yönlendirmişlerdir. Wallhoff ve ark. [3] 2010 yılındaki çalışmalarında bir robotun bir görevi insan talimatlarına göre nasıl tamamladığını gösteren bir hibrit montaj istasyonu önermişlerdir. Robotların çalışma zamanı sırasında çalışma bilgilerinin değiştirilmesine izin veren bilgi tabanlı bir sistem denetleyicisi kullanmışlardır. Donanım bileşenlerini kontrol etmek için kullanılan yazılım modüllerini geliştirip, gerçek zamanlı işlemeye izin veren karmaşık bir yazılıma entegre etmişlerdir. Ayrıca ses, bakış, dokunsal ve etkileşimsel kanalları işleyebilmişlerdir. Ek olarak önerilen hibrit montaj istasyonu, gözetim ünitesi ve çarpışma önleme modülünün birleşimi sayesinde çalışma alanında insan ve robotun aynı anda çalışmasına olanak sağlamıştır. Çalışmada sunulan farklı modüller arasındaki etkileşimi göstermek üzere örnek bir uygulama senaryosu kullanarak özetlemişlerdir. Çalışmalarında sunulan modüller, bir insan ve endüstriyel bir robotun ortak bir görev üzerinde birlikte çalıştığı bir hibrit montaj hücresinde güvenliği ve etkileşimi artırma fırsatlarını göstermiştir. Çalışmalarında geliştirilen yazılımın avantajı ise robot programlama deneyimi olmayan insanların bile talimatları kullanarak sisteme yeni görevler ekleyebilmesi olarak belirtilmiştir. Chen ve ark. [4] 2011 yılında insan-robot koordineli hücre montajı için bir model önermişlerdir. Bir hibrit hücre oluşturmak için optimal bir montaj stratejisi önermişlerdir. Hibrit montaj hücresindeki tüm potansiyel durumları tanımlamak için genelleştirilmiş bir stokastik petri ağları modelini kullanmışlardır. Takata ve ark. [5] ise çalışmalarında hibrit montaj sistemleri için insan-robot tahsisi planlama yöntemini önermiş ve analiz etmişlerdir. Bu yöntem, ürün modellerinde değişiklikleri ve gelecekte talep edilen hacimleri dikkate alarak toplam üretim maliyetini potansiyel olarak en aza indirebilecek bir başlangıç ödenek modelinin seçilmesini sağlamıştır. Yöntemin etkinliğini basit bir örnek kullanarak doğrulamışlardır. Bu çalışma, hibrit montaj sistemlerinin etkin kullanımında önemli bir adım olmuştur. Tsarouchi ve ark. [6] hibrit montaj hücrelerinde ortak görevlerin uygulanması için insan-robot iş birliğini incelemişlerdir. Çalışmalarında insan-robot aynı montaj hücresini paylaşmıştır. Yetenekleri ile ilgili olarak onlara bir görev vermişlerdir. Ayrıca, insan-robot görev ataması için akıllı bir karar verme yaklaşımını sunmuşlardır. Bu yaklaşımın adımları şu şekildedir:

- Kaynak uygunluğu: Bir kaynağın bir görevi yürütebilmesi için uygun olduğundan emin olmak için kullanılır. Örneğin, görevlerin atanmasına karar vermeden önce kaynakların yük taşıma yetenekleri dikkate alınır.
- Kaynak kullanılabilirliği: Bir görevin yürütülebilmesi için bir kaynağın mevcut olup olmadığını belirlemek için kullanılır.
- Çalışma süresi: Bir kaynağın bir görevi yürütmesi gereken zamandır, kaynağa minimum çalışma süresine sahip bir görev atanacaktır.

Son olarak 2020 yılında Çil ve ark. [7] literatürde ilk defa insan robot iş birliği ile MHD probleminin fiziksel insan-robot iş birliğini incelemişlerdir. Çalışmalarında küçük boyutlu problemleri

etkili bir şekilde çözmek için insan-robot iş birliği ile MHD problemi formüle edip, yeni bir matematiksel model ve arı kolonisi algoritması geliştirmişlerdir.

Literatürde insan robot iş birliği ile MHD problemi yeni ve güncel bir konudur. Bu alanda henüz çok sayıda çalışma yer almamaktadır. Bu çalışmada, hibrit montaj: insanın ve robotun birlikte çalışması durumuna ek olarak aynı istasyona insan ve robot birlikte çalışmasının sakıncalı olduğu durumların da göz önünde bulundurulduğu montaj hatları için matematiksel model geliştirilmiştir.

Gerçek hayatta MHD problemleri çok ve çelişen amaçlara göre değerlendirilir. Bu nedenle geliştirilen insan robot iş birliği ile MHD matematiksel modeline ayrıca çok ve birbiriyle çelişen istasyon sayısı, çalışan maliyeti ve çevrim süresi olmak üzere üç amaç için optimize eden bir yaklaşım önerilmektedir. Bu yaklaşıma, hedef programlama ve ÇKKV teknikleri entegre edilmiştir. Bu üç amacın öncelik sıralaması hattın teknik özelliklerine, ürüne vs. göre değişkenlik arz etmektedir. Bu nedenle, önerilen yaklaşımda insan robot iş birliği ile MHD probleminin, birbiriyle çelişen üç amacın bütün farklı öncelik sıralaması açısından hedef programlama ile sırasıyla sonuçları elde edilmiştir. Elde edilen alternatif çözümler üç amacın yanı sıra başkaca kriterler (hat etkinliği, düzgünlük indeksi ve denge gecikmesi) açısından da ÇKKV yaklaşımlarından olan BWM-MABAC ile değerlendirilmiş, en iyi alternatif MHD seçilmiştir. Böylelikle, literatüre hem yeni bir matematiksel model katkısı hem de hedef programlama ve ÇKKV yaklaşımlarının entegresinden oluşan yeni birçok amaçlı optimizasyon çözüm yaklaşımı katkısı sağlanması hedeflenmektedir. Önerilen bu yaklaşımların MHD probleminde örnek çözümü ile yaklaşımın uygulanabilirliği incelenmiştir.

Bölüm 2' de materyal ve metod açıklanmıştır. Bölüm 3' te önerilen Çok Amaçlı İnsan-Robot İş Birliği ile MHD yaklaşımı açıklanmış ve geliştirilen matematiksel model sunulmuştur. Bölüm 4' te geliştirilen matematiksel model üzerinde Çok Amaçlı İnsan-Robot İş Birliği ile MHD için örnek bir uygulama verilmiştir. Bölüm 5' te ise sonuçlar açıklanmış ve en uygun alternatif önerilmiştir.

2. Materyal Ve Metod

2.1. Montaj Hattı Dengeleme

MHD, bir şirketin fayda yaratmak amacıyla görev süreleri arasında oluşan kayıp zamanların en aza indirilmesi olarak tanımlanabilir.

Alağaç ve ark. [8] çalışmalarında karmaşık modellenmiş MHD problemlerini ele almışlardır. Çalışmalarındaki problemin amacı istasyon sayısı ile çevrim zamanını en aza indirmektir. Yöntem olarak alternatif bir kısıt programlama yöntemi kullanmışlardır. Kısıt programlama yaklaşımı bilgisayar programlamanın ve matematiksel programlamanın esneklik ve çözüme ulaşma özelliklerini bir arada kullanmamıza olanak sağlamaktadır. Çalışmanın sonucunda kısıt programlama modelinin karışık modellenmiş MHD probleminin çözümünde kullanılacak alternatif bir yol olduğunu ancak modelin sonuçları matematiksel modelle elde edilen sonuçlarla karşılaştırdıklarında bariz bir farkın olmadığını gözlemlemişlerdir. Altunay ve ark. [9] çalışmalarında paralel bir montaj hattı için uygun bir matematiksel model bulmayı hedeflemişlerdir. Çalışmalarındaki modelin amacı ise belirlenmiş bir istasyon sayısı için çevrim süresini en aza indirmektir. Hat boyunca tek tip ürün modelini seçmişlerdir. Paralel yapıdaki bu montaj hattı için öncelik ilişkileri diyagramından yararlanmışlardır. En etkin yöntem olarak iş süreleri oranının yüksek olduğu hatlarda çevrim sürelerinin azaltılması ve bunun sonucunda üretim seviyesinin üst düzeylere çıkarılması olmuştur. Yapılan matematiksel model ve öneriler sayesinde montaj hattı üretiminde verimliliği artırıp, boş zamanları en aza indirmişlerdir. Topaloğlu ve ark. [10] çalışmalarında elektronik üzerine bir firmanın montaj hattının dengelenmesini ve çalışanların istasyonlara atanmasını ele almışlardır. Çalışmaları iki bölüme ayrılmıştır. İlk olarak çalışanların kullandığı ekipmanlar ve ekipmanların hangi istasyonlarda bulunduğu ile ilgili bir araştırma yapıp, yapılan bu araştırma sonucunda uygun bir matematiksel modelleme hazırlamışlardır. Modellerinin ana amacı çevrim süresini ve çalışan sayısını en aza indirmektir. Matematiksel modeli LINGO yazılımı ile

çözdürüp, çalışanların istasyon atamalarını gerçekleştirmişlerdir. İkinci olarak ise bu verilerden yararlanılarak ulaşılan sonuçları gerçek hayata uyarlayıp test etmişlerdir. Bu testte ise benzetim tekniğinden yararlanıp ARENA 15.0' ı kullanmışlardır. Ayrıca çalışmalarında öncelik ilişkileri diyagramından yararlanmışlardır. Sonuç olarak çalışan sayısı ve çevrim süresini en aza indirip, sadece matematiksel modelin yetersiz olduğunun, yanında benzetim tekniklerinin de kullanılması gerektiğinin sonucuna varmışlardır. Gemici ve ark. [11] standart olmayan bir işletmenin standart montaj hattı dengelenmesi üzerine çalışmışlardır. Çalışmalarındaki montaj hattının dengesizliği dar boğaz oluşmasına, iş yükünün dengesizliğine ve verimliliğin azalmasına neden olmaktadır. Çalışmalarının diğer çalışmalardan farkı ise darboğazların kimyasal tepkimeler içerdiği için istasyon süresinin değiştirilemediğinden, amacın çevrim süresini değil, istasyon sayısını azaltmak olmasıdır. Geliştirdikleri matematiksel modeli IBM ILOG Optimization Studio 12.10.0 yazılımı ile çözdürmüşlerdir. Sonuçta işletmedeki çevrim süresini kısıt almadan, işçi sayısı ve istasyon sayısı oranını ayarlamışlardır. Elde edilen grafiklerden çevrim süresi arttıkça işçi sayısının azaldığını gözlemlemişlerdir. Yaptıkları çalışmalar sonucu iş yükünün dengelendiği görülmüştür.

2.1.1. Robotik Montaj Hattı Dengeleme

RMHD, istasyonlarda kullanılan robotların işlem süreleri arasında geçen kayıp sürelerin en aza indirilmesi için yapılan dengeleme çalışmalarıdır. Rubinovitz [12], RMHD problemi araştırma alanında önde gelen öncülerdendir. Düz bir robotik montaj hattında Tip-1 için doğrusal bir model sunmuştur. Belirli bir çevrim zamanı altında, iş yüklerini istasyonlara eşit bir şekilde atayarak istasyon sayısını en aza indirmeyi ve bunları yapmak için belirlenmiş robotlardan her istasyona en etkili olacak robot tipini atamayı hedeflemiştir. Montaj hattının tek bir ürün modeli ürettiğini ve her istasyonda sadece bir robotun çalışabildiğini varsaymıştır. Bunun yanı sıra görev süreleri seçilen robota bağlı olup, deterministik ve değişkendir. Robotik montaj hattı dengeleme, literatürde ilk kez Rubinovitz & Bukchin [13] tarafından ele alınmıştır. Üretim ortamında tek modellenen robotik montaj hattını kullanıp, problemi ayrıntılı olarak açıklamışlardır. Çalışmalarında RMH' nin tasarımı ve dengelenmesinde iki farklı hedefe aynı anda ulaşılması gerektiğini, yani üretim kısıtlamalarını ihlal etmeden montaj hattının optimum dengesinin ve her istasyonun ihtiyacı olan robotun atamasının yapılması gerektiğini açıklamışlardır. Görev sürelerinin deterministik olduğunu varsaymışlardır. Yöntem olarak sezgisel bir yöntem olan dal-sınır algoritmasından yararlanmışlardır. Bu algoritma ile görevleri ve robotları istasyonlara atayarak bir arama ağacı oluşturup, en uygun çözümü bulmuşlardır. Önerdikleri algoritmayı, çeşitli robotik montaj sistemi esneklikleri altında mevcut üç robot türü ile 100 göreve kadar çözmüşlerdir. Kim & Park [13] Düz RMHD problemi Tip-1 için sınırlı alan kısıtı altında sadece görevleri ve robotları atama problemini değil, bunun yanı sıra parça ve araçları atama problemini de incelemişlerdir. Robotik hücre sayısını en aza indirmek için tek modellenen montaj hattına görevler, parçalar ve araçlar atamışlardır. Bir doğrusal programlama modeli önermişlerdir ve yöntem olarak kesme düzlemi algoritmasından yararlanmışlardır. Önerilen yaklaşımın optimal çözüm üzerinde daha düşük bir sınır keşfedebileceğini bulmuşlardır. Problemi iki gerçek ölçülmüş ve 8 türetilmiş veriyle test etmişlerdir. Hong ve ark. [14] robotik montaj sıralama problemini MHDP ile ele almışlardır. Bu iki problemle farklı amaçları optimize etmeye çalışmışlardır. Çalışmalarındaki montaj sırası problemi için amaçlar montaj maliyetinin minimizasyonu ve belirli bir çevrim süresi kısıtı altında istasyon sayısının minimizasyonu olmuştur. Yöntem olarak benzetilmiş tavlama algoritmasını kullanmışlardır. Algoritmayı test etmek için seri bir hattan oluşan bir modelin monte edildiği 10 parçalık elektrik rölesini ve 13 parçalık otomobil alternatörünü kullanmışlardır. Enerji fonksiyonunu, montaj kısıtlamaları ile montaj maliyetlerini ve boş kalma süresini ceza olarak dikkate almışlardır. İstasyon sayısının minimizasyonunun uygun maliyetli montaja bağlı olduğunu göstermişlerdir. Levithin ve ark. [15] istasyonlara iş atamak, istasyon sayısını azaltmak ve büyük boyutlu problemleri çözmek için her istasyona atanacak robot türünü seçmek amacıyla genetik bir algoritma önermişlerdir. İstasyonlara iş ve robot atamak için iki yöntem önermişlerdir; özyinelemeli ve ardışık atama yöntemi. Ardışık atama yöntemiyle önerdikleri genetik algoritmayı, yüksek performanslı teyit etmek için dal-sınır aramasını kullanarak esneklik oranı, işçi-istasyon sayısı oranı, farklı robot tiplerinin sayısı, robot esnekliği ve robot beklenen zaman değişkenliği gibi farklı özelliklerle

karşılaştırmışlardır. Ardışık atama yöntemiyle önerilen genetik algoritmanın özyinelemeli yönteminden daha iyi bir ortalama çevrim süresi sağladığını ortaya koymuşlardır. Bunun yanı sıra ardışık atama yöntemiyle önerilen genetik algoritmayı istasyon sayısının en aza indirilmesi açısından dal-sınır algoritması ile karşılaştırmışlardır. Dal-sınır algoritması sadece küçük bir problem alt kümesi için en uygun çözümleri verirken, ardışık atama yöntemiyle önerilen genetik algoritmanın özellikle büyük ve karmaşık problemler için en uygun çözümü verdiğini gözlemlemişlerdir. Gao ve ark. [16] tek modelli düz hatlı, mobilya üretimi yapan bir firmanın yeni bir ürün modeli üretme kararı almasıyla değişime uyum sağlamak için aynı sayıda istasyon ve mevcut robotlar kullanmışlardır. RMHD Tip-2 için istasyonlara görev atamak, istasyon sayısını azaltmak ve her istasyona atanacak robot türünü seçebilmek amacıyla genetik algoritma ve değişken komşuluk arama yöntemleri birlikte kullanılarak elde edilmiş hibrit genetik algoritmaya ulaşmışlardır. Hibrit genetik algoritmanın performansını ölçmek amacıyla doğrusal olmayan matematiksel bir model oluşturup, yeni karşılaştırma problemleri sunmuşlardır. Model Ilog OPL yazılımında çözdürülmüş ve sadece çok küçük boyutlu problemleri çözebileceği, üç ve dört robotlu 25 görevli problem için aynı sonuçların hibrit genetik algoritma tarafından da elde edildiğini göstermişlerdir. Hibrit genetik algoritmanın kabul edilebilir bir zamanda tatmin edici çözümler verdiğini ve test edilen diğer algoritmalarından daha iyi performans gösterdiğini belirtmişlerdir. Gao ve ark. [16] ve Nilakantan ve ark. [17] aynı problem üzerinde çalışsalar da Nilakantan ve ark. [17] çalışmalarında herhangi bir robotun herhangi bir sıralama olmadan kullanılabileceğini savunmuşlardır ve bu savunma yüzünden Gao ve ark. [16] ile karşıt bir çalışma ortaya çıkarıp, RMHD Tip-2 için tek modelli montaj hattını incelemişlerdir. Çevrim süresini en aza indirmek için parçacık sürü optimizasyonu geliştirmişlerdir. Çalışmalarındaki test problemi 4 istasyon ve 148 görevden oluşmuştur. Parçacık sürü optimizasyonu algoritmasının performansını özyinelemeli, ardışık atama, genetik algoritma ve hibrit genetik algoritma ile karşılaştırmışlardır. Parçacık sürü algoritmasının tatmin edici bir işlem süresi ile diğer algoritmalarından daha iyi bir performans gösterdiğini belirtmişlerdir. Yoosefelahi ve ark. [18] çalışmalarında çevrim sayısını, robot kurulum ve robot maliyetini en aza indirmek için ÇKVV ile RMHP Tip-2' yi incelemişlerdir. Düz RMH' nı, tek bir model için dengelemişlerdir. Problemi çözmek için yeni doğrusal bir matematiksel model geliştirip, çok amaçlı evrimsel algoritma, pareto ve hibrit çok amaçlı evrimsel algoritma önermişlerdir. Algoritmayı 35 görev ve 3 robot için test etmişlerdir. Performanslarını test etmek üzere iki test problemi kullanmışlardır. Problem-1 için 3 robot, 5 istasyon ve 10 görev, Problem-2 için 5 robot, 5 istasyon ve 35 görev kullanmışlardır. Çalışmalarında pareto, diğer iki algoritmadan çevrim süresi, kalite, verimlilik ve robot maliyetleri açısından daha iyi sonuç vermiştir. Daoud ve ark. [19] ürün bileşenlerine daha kolay ulaşmak ve bunları konveyör üzerindeki çeşitli noktalarda monte etmek amacıyla süt ürünleri için ayrılmış otomatik bir paketleme hattında malzeme taşıma sistemi olarak toplama ve yerleştirme robotlarının (pick-and-place) kullanıldığı RMHD Tip-E' yi incelemişlerdir. Pick-and-place robotları, sistemde insanların yaptığı işleri yapabilen ve insana ihtiyaç duymadan çalışabilen robotlardır. Sistemin hat verimliliğinin maksimizasyonunu ve robotlar arasındaki görevleri dengelemeyi amaç olarak kabul etmişlerdir. Sistemin hat verimliliğini en üst seviyeye çıkarmak ve her robot için çarpışma ve konum noktalarının en optimum dağılımını bulabilmek için hibrit genetik algoritmayı, güdümlü yerel arama algoritmasını, hibrit parçacık sürüsü algoritmasını ve hibrit karınca kolonisi algoritmasını önermişlerdir. Önerilen algoritmaları numaralandırma yöntemiyle karşılaştırmışlardır. Algoritmaların performansını karşılaştırmak için robot sayısı, konum noktaları gibi test durumlarını geliştirmişlerdir. Numaralandırma yönteminin belirli bir işlem süresi kısıtı altında bir sonuca ulaşamadığını belirtmişlerdir. Hibrit karınca kolonisi algoritmasının diğer algoritmalarından daha iyi performansa ulaştığını ve geliştirilen tüm test durumlarında numaralandırma yöntemi tarafından bulunan en uygun çözümlere ulaşabildiğini göstermişlerdir. Aghajani ve ark. [20] literatürde ilk defa çift taraflı RMHD probleminden bahsetmişlerdir. Robot ve robot sırasına bağlı kurulum süresini dikkate almışlardır. Görev süresini görev bitiş süresi, robot kurulum süresi ve robot sırasına bağlı kurulum süresi toplamıyla hesaplamışlardır. Buna ek olarak robot kurulum süresi ve robot sırasına bağlı kurulum süresinin aynı anda yapılması gerektiğini belirtmişlerdir. Tüm modellerde çevrim süresinin en aza indirilmesi için doğrusal bir matematiksel model önermişlerdir. Küçük boyutlu problemler için karışık tam sayılı programlama tekniğini kullanmışlardır. Ayrıca büyük boyutlu test problemleri için benzetilmiş tavlama algoritması geliştirmişlerdir. Büyük boyutlu problemler için benzetilmiş tavlama algoritması, GAMS yazılımından en uygun çözümleri aramada daha etkili olmuştur. Nilakantan ve ark.

[21] çevrim süresinin ve toplam tüketilen enerji miktarının en aza indirilmesini birlikte hedefleyen, bir modelin olduğu varsayılan RMHD Tip-2 üzerinde çalışmışlardır. İlk amaçları çevrim süresini en aza indirmek ve ikinci amaçları toplam tüketilen enerjiyi en aza indirmek olmuştur. Çok kriterli problemi çözmek için parçacık sürü optimizasyonundan (PSO) yararlanmışlardır. Küçük ve büyük olarak sınıflandırılan 32 örnekle iki test problemi kullanmışlardır. Enerjiyi en aza indirme amaçlı olan modelin, çevrim zamanını en aza indirme amaçlı olan modele göre toplam daha düşük enerji tüketimi elde ettiğini ortaya çıkarmışlardır. Bunun yanı sıra çevrim zamanını en aza indirmeyi amaçlayan modelin, tüketilen enerjiyi en aza indirmeyi amaçlayan modele göre çevrim zamanının en aza indirilmesi açısından daha iyi olduğunu ortaya çıkarmışlardır. Nilakantan ve ark. [22] tek modelli ve görev süreleri atanmış, robot türlerine göre değişen RMHD Tip-2 üzerinde çalışmışlardır. Test problemlerini görev sayıları değiştirilerek oluşturmuşlardır. Test problemlerini CPLEX çözücüsüyle çözüp, çözücüyle 25, 35, ve 53 görevi olan test problemleri için çözümlere ulaşmışlardır. Büyük boyutlu problemler için parçacık sürü optimizasyonunu ve hibrit guguklu arama algoritmalarını önermişlerdir. Bu iki algoritmayı hibrit genetik algoritma ile karşılaştırıp, bulunan sonuçların CPLEX çözümlerine yakın olduğu ve hibrit genetik algoritmadan daha çok performans gösterdiği sonucuna ulaşmışlardır. Nilakantan ve ark. [23] literatürde ilk kez U şeklinde bir RMHD problemi üzerinde çalışmışlardır. Çevrim zamanını en aza indirmek amacıyla matematiksel bir model kurmuşlardır ve çözümü için PSO algoritması önermişlerdir. Yapmış oldukları 32 test probleminden 28'inde düz RMH ile kıyaslanıldığında kendi modellerinin daha küçük çevrim süresine sahip olduğunu gözlemlemişlerdir. Çalışmalarının bir robotun sadece bir iş istasyonuna atanabilmesi ve montaj hattındaki iş istasyonlarının görevleri bölemeyeceği gibi kısıtlamalara sahip olduğunu belirtmişlerdir. Rabbani ve ark. [24] robot satın alma maliyetlerini, robot kurulum maliyetlerini, sıraya bağlı kurulum maliyetlerini ve çevrim sürelerini en aza indirmek amacıyla U tipi RMHD problemini incelemişlerdir. Bir model için özel görev ataması ve birkaç model için ortak görevleri işlemişler ve iki veya daha fazla robotun bir görevi aynı istasyonda uygulayabileceğini varsayımlardır. Zixiang ve ark. [25] karma RMHD problemi üzerinde çalışmışlardır. RMH, görev atama, model sıralama ve robot tahsisi olmak üzere üç alt sorundan oluşmuştur. Çalışmalarının amacı çevrim zamanını en aza indirmek olmuştur. Küçük boyutlu problemleri test etmek için CPLEX çözücüsü kullanmışlardır. Geliştirdikleri modelin, karar vericinin robotlardan en iyi şekilde yararlanmasına, üretkenliğe ve maliyetlerin düşürülmesine olanak sağlayacağını belirtmişlerdir. Büyük boyutlu sorunlar için meta sezgisel iki algoritma olan yeniden başlatılmış benzetilmiş tavlama ve yeniden başlatılmış evrimsel genetik algoritma kullanmışlardır. Önerilen algoritmaları değerlendirmek için 104 veri içeren bir dizi karşılaştırma problemi oluşturmuşlar ve çözmüşlerdir. Analizlerinin sonucunda yeniden başlatılmış benzetilmiş tavlama algoritmasının karşılaştırılan diğer yedi algoritmadan daha iyi bir sonuç verdiğini belirtmişlerdir. Müller ve ark. [26] yaptıkları çalışmada üretim teknolojilerindeki gelişmeler nedeniyle Endüstri 4.0'ın temelini oluşturan, arızaya bağlı verim kayıplarını azaltmak için yeni çözümler önermişlerdir. Çözümlerinden biri, onarım süresi boyunca alt (yedek) istasyonların arızalı istasyonların işlemlerini otomatik olarak üstlendiği yedekli bir yapılandırma olmuştur. Bu durumlarda verim kaybı, operasyonların tahsisine ve yedek istasyonların atanmasına bağlı olmuştur. Diğer bir çözümleri ise otomatikleştirilmiş hatların konfigürasyonundaki fazlalıkları dikkate alan mevcut yaklaşımların, ortaya çıkan üretim oranını ihmal etmesi yerine, hatların fazlalık düzeyini, optimizasyon için vekil bir ölçü olarak kullanmaları olmuştur. Hattın üretim hızını maksimize etmek için stokastik arızalı robotik montaj hatlarının yedekli konfigürasyonu için bir genetik algoritma sunmuşlardır. Önerdikleri bu yaklaşımın üretkenlik iyileştirmelerine izin verdiğini belirtmişlerdir. Zhang ve ark. [27] U tipi RMHD problemlerinde enerji tüketimini azaltmak ve verimliliği artırmak amacıyla karşılaştırmalı bir dizi deney üzerinde çalışmış ve pareto yapay arı kolonisini genişleterek bir koloni algoritması geliştirmişlerdir. Pereira ve ark. [28] maliyet odaklı RMHD üzerinde çalışmışlardır. Çalışmalarında sabit kurulum ve değişken işletme maliyetlerini en aza indirmeyi amaçlayan, istasyonlara görev ve robot atamalarının ortaklaşa yapıldığı model önermişlerdir. Önermiş oldukları algoritmanın, görevlerin yalnızca belirli bir sırada gerçekleştirildiği durumlarda ve problemin sadece iki istasyona sahip olduğu durumlarda sonuç verdiğini belirtmişlerdir. Li ve ark. [29] kurulum süresi ve maliyet odaklı bir RMHD üzerinde çalışmışlardır. Çevrim süresi ve toplam satın alma maliyetini aynı anda en aza indirmeyi amaçlamışlardır. Doğrusal bir matematiksel model formüle etmişler, genetik algoritma ve arı kolonisi algoritmasını kullanmışlardır. Zhou ve ark. [30] çalışmalarında otomatikleştirilmiş montaj hattında,

toplam enerji tüketimini ve üretkenlikle ilgili bir hedefi (benzer çalışma yükü) aynı anda optimize etmeyi amaçlayan sürdürülebilir bir yaklaşım önermişlerdir. Her işleme aşamasının kapsamlı bir toplam enerji tüketimini analiz edip, modellemişlerdir. Modeli daha pratik hale getirmek için, sıra tabanlı bir geçiş süresi ve farklı verimliliklere ve enerji tüketim oranlarına sahip robotları düşünüp, optimize etmişlerdir. Önerdikleri optimal çözümde, ayrıştırmaya dayalı çok amaçlı bir evrimsel algoritmayı temel almışlardır. Algoritmanın her bir iyileştirme stratejisini ve kullandıkları diğer iki yüksek performanslı çok amaçlı optimizasyon yöntemine göre üstünlüğünü değerlendirmek için hesaplama deneyleri yapmışlardır. Bu model ile karar vericilerin hem üretkenlik hem de enerji tasarrufu üzerindeki karar etkilerine dayalı olarak daha sürdürülebilir montaj operasyonları seçmelerine olanak tanımışlardır. Zhang ve ark. [31] istasyonlara görev atama, robot atama ve enerji tasarrufunu sağlama amacıyla karışık modellenmiş U tipi RMHD üzerinde çalışmışlardır. Birçok algoritmayı karşılaştırmış, bir matematiksel model formüle etmiş ve hibrit çok amaçlı yusufçuk algoritması önermişlerdir.

2.2. Çok Amaçlı Optimizasyon

Çok amaçlı optimizasyon, çakışan birden fazla amacın aynı anda optimize edilmesine olanak sağlayan yöntem veya yöntemlerdir.

2.2.1. Hedef Programlama

Hedef programlama, birbiriyle çakışan çok amaçlı problemlerde doğrusal programlamanın yeterli olmadığı zamanlarda, hedef değerlerde oluşan sapmaları minimize eden çözümün bulunduğu bir yaklaşımdır. Hedef programlama yaklaşımından literatürde ilk kez Charnes&Cooper [32] bahsetmişlerdir. Çalışmalarının amacı önceden belirlenmiş hedeflerin hedef sapmasını en aza indirmek olmuştur. Çatışan hedeflerin aynı anda optimize edilemeyeceğini belirlemiş ve bu sebeple hedef programlama hedeflerini optimize etmek yerine tüm hedefleri karşılamayı sağlamışlardır. Gokcen&Erel [33] karma model montaj hattına bir hedef programlama yaklaşımını kullanarak MHD problemi üzerinde çalışmışlardır. Hedef programlama öncelik seviyeleri en çoktan en aza sırasıyla şu şekildedir; istasyon sayısı 3' ü geçmemelidir, döngü süresi model 1 için 22' yi ve model 2 için 24' ü geçmemelidir, 1. ve 3. görev aynı istasyona atanmamalıdır. Matematiksel bir model önermişler ve önerilen modeli GAMS programında çözdürmüşlerdir. Sonuç olarak karar vericinin ya daha uzun bir çevrim süresini kabul etmesini ya da istasyonların artırılmasını önermişlerdir. Gökçen&Ağpak [34] basit U tipi hat için hedef programlama yaklaşımı ile MHD çalışmışlardır. Hedef programlamada öncelik hedefleri sırasıyla şu şekildedir; iş istasyonu sayısı 3' ü geçmemelidir, çevrim zamanı 15' i geçmemelidir ve istasyon başına düşen görev sayısı 3' ü geçmemelidir. Önerilen modeli GAMS programında çözdürmüşler, çözülen modellerin esneklik ve farklı alternatifler bakımından değerlendirmesini yapmışlardır. Cil ve ark. [35] RMHD problemini hedef programlama yaklaşımı ile çalışmışlardır. Çalışmalarında çevrim süresini, iş istasyonunu ve toplam robot maliyetini en aza indiren üç farklı hedefi göz önünde bulundurmışlardır. Bu hedefleri karşılamak için hedef programlama yaklaşımını önermişlerdir. İlerideki çalışmalar için model değiştirme kurulum süresinin en aza indirilmesini ve takım değiştirme sayısı gibi çeşitli hedeflerle genişletilmesini önermişlerdir. Rauf ve ark. [36] çalışmalarında değiştirilmiş bir simülasyon kullanarak çok kriterli model sıralama problemini ele almışlardır. Akıllı çok kriterli Nawaz-Enscore-Ham algoritmasını kullanmışlardır. Problemin çözümünde ayrık olay simülasyonundan yararlanmışlardır. Her bir çözümü değerlendirmek için üç kıstas oluşturmuşlardır. Bunlar akış süresi, yapım süresi ve boş zamanlardır. Bu üç kıstas için bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Çalışmalarında kullanılan algoritmanın etkinliğini doğrulamak için bir vaka çalışması yapmışlardır. Kullanılan Akıllı Çok Kriterli Nawaz-Enscore-Ham algoritması ile geleneksel Nawaz-Enscore-Ham algoritmasını karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak kullanılan Akıllı Çok Kriterli Nawaz-Enscore-Ham algoritmasının optimizasyon konusunda daha etkin bir algoritma olduğuna karar vermişlerdir.

Jolai ve ark. [37] çok amaçlı MHD problemini çözmek için veri zarflama analizini önermişlerdir. Önemli sayıda çözüm alternatifi ve niceliksel karar verme birimi çıktılarını üretmek için esnek hat

dengeleme yazılımı olan bilgisayar destekli bir MHD aracını kullanmışlardır. Özcan&Toklu [38] çift taraflı montaj hattında ÇKKV üzerinde çalışmışlardır. Eşleştirilmiş istasyonların sayısını, çevrim zamanını ve istasyona atanan görev sayısını hedef olarak kabul etmişlerdir. Örnek bir problem çözüp, önerilen hedef programlama modellerinin esnekliğini ve verimliliğini göstermek için hesaplamalı bir çalışma yapmışlardır. Karar vericinin tercihlerine dayanarak önerilen modeller, hedeflerin değerlerini artırmıştır. Çalışmalarında bir matematiksel model, kesin hedefler için hedef programlama modeli, çift taraflı MHD ve kesin olmayan hedefler için bulanık bir hedef programlama modeli sunmuşlardır. Sunulan matematiksel model, birincil ve ikincil hedef olarak eşleştirilmiş istasyon sayısını belirli bir döngü süresi için en aza indirmiştir. Hamta ve ark. [39] görev sürelerinin bilinmeyen değişkenler olduğu ve bilinen tek bilginin her görevin işlem süresi için alt ve üst sınırlar olduğu tek modellenmiş MHD probleminin çok amaçlı optimizasyonunu ele almışlardır. Üç amaç şu şekildedir;

- Çevrim zamanını en aza indirmek,
- Ekipman maliyetini en aza indirmek,
- Düzgünlük indeksini en aza indirmek

Gerçek hayattaki durumu yeterince yansıtabilmek için görev süresinin, aynı veya benzer görev için insanın ve robotun öğrenmesine bağlı olduğunu ve ayrıca görevler arasında sıraya bağlı kurulum süresinin bulunduğunu varsaymışlardır. Ayrıca, problemi çözmek için ağırlıklı ve min-max tekniklerinin birleşimine dayanan bir çözüm yöntemi önermişlerdir. Son olarak, önerilen metodun Pareto optimal çözümlerini nasıl sağladığını göstermek için bir örnek sunmuşlardır.

2.3. Montaj Hattı Dengelemede ÇKKV Uygulamaları

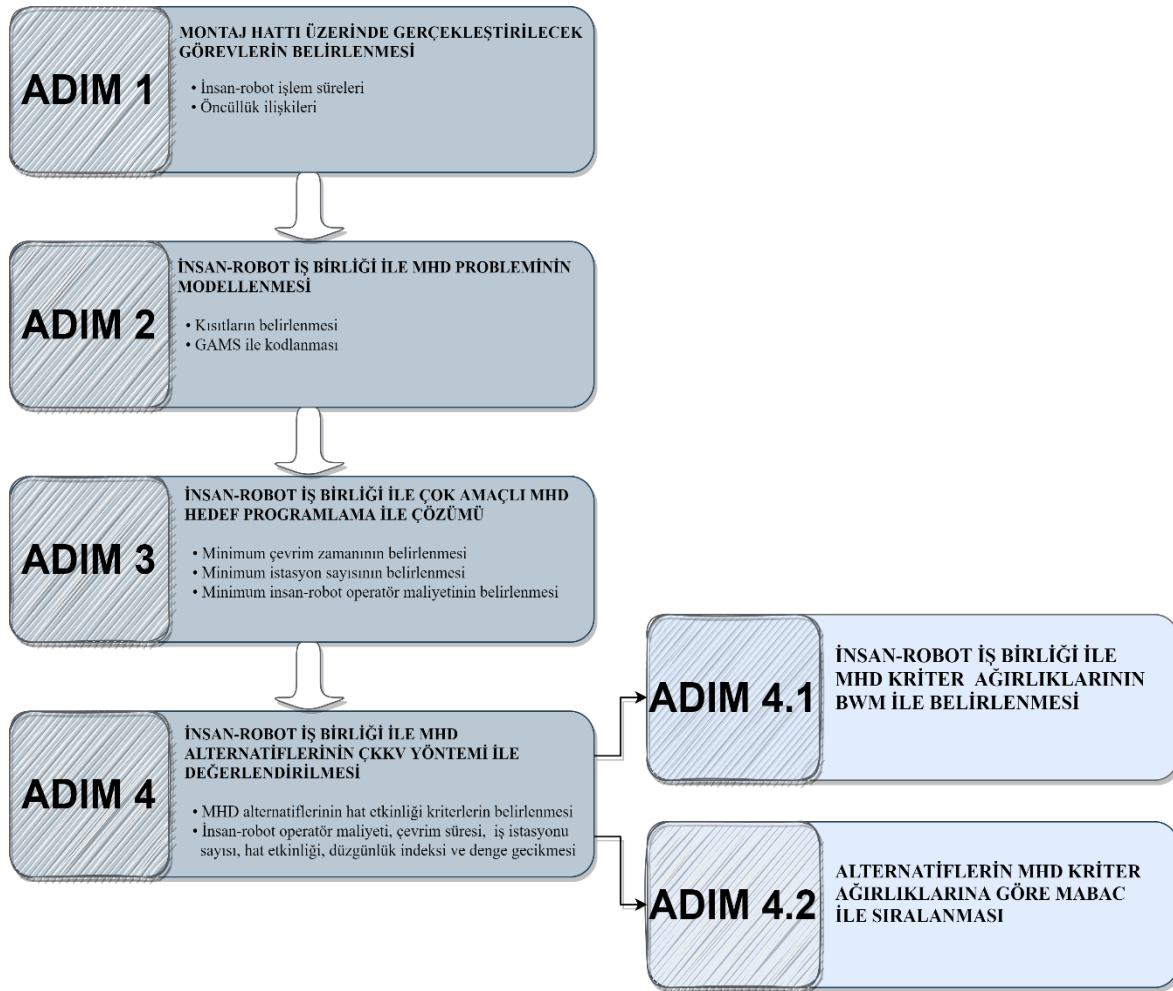
ÇKKV yöntemleri, çelişen somut ve soyut ölçütlere veya niteliklere göre karar seçeneklerinden en iyisini seçmek, seçenekleri sıralamak ya da sınıflandırmak için kullanılan yöntemlerdir [40]. ÇKKV, çok ve genellikle çelişen kriterleri göz önünde bulundurarak alternatifleri seçme, sıralama veya sınıflandırma konusunda karar vermeye yardımcı olan ve günlük hayatta çokça karşılaşılan bir aktivitedir [41]. 1960'lardan beri, ÇKKV araştırma konusu ile ilgili önemli miktarda teorik ve pratik makale ve kitap yayınlanmıştır. Roy ve ark. [42], Saaty ve ark. [43] ve Ho ve ark. [44] gibi literatürde yer alan birçok çalışma, bu araştırma konusunun güncelliğini ortaya koymaktadır.

Literatürde montaj hattı dengelemede ÇKKV uygulamaları sıkça çalışılmıştır. Malakooti [45] 1994 yılında ÇKKV yöntemi kullanılarak mevcut etkileşimli en iyi alternatifin nasıl seçilebileceğini açıklamıştır. Çalışmasının amacı, ideal olarak montaj işleminin çeşitli amaçlarını optimize etmek olmuştur. Çalışmasında, iş tasarımı, ergonomi, çalışma koşulları, teknolojik görev sırası, görev zamanı vb. gibi faktörlerin optimal seviyelere getirildiğini ve incelenen kararların sadece iş istasyonlarına görevlerin atanması ve kar üzerindeki etkileri ile ilgili olduğunu varsaymıştır. Bir montaj hattı ara stok alanı olmadan çalıştığında, iş istasyonlarının bağımsız olduğunu ve bunun da bir istasyon arızalanırsa, diğer tüm istasyonların etkileneceği anlamına geldiğini göstermiştir. Kabir ve ark. [46] iş istasyonlarının sayısını belirlemek için çoklu kriter tabanlı bir yaklaşım geliştirmişlerdir. İlk olarak; her ürün modeli için dengelenmiş bir dizi uygulanabilir sayıda iş istasyonu oluşturup, her istasyon sayısı için geçiş süresini hesaplamak amacıyla bir model geliştirmişlerdir. Son olarak; üretim hızı, çeşitlilik, taşınan minimum mesafe, iş bölümü ve kaliteyi göz önünde bulundurarak iş istasyonu sayısını seçmek için çok kriterli bir değerlendirme modeli geliştirmişlerdir. Metodolojiyi daha sonra baskı hesap makineleri için gerçek hayattaki bir toplu model montaj hattına uygulamışlardır.

3. Önerilen Çok Amaçlı İnsan-Robot İş Birliği ile MHD Yaklaşımı

Çok amaçlı insan-robot iş birliği ile MHD, insan-robot birlikte çalıştığı veya ayrı çalıştığı istasyonlarda görevler arası kayıp zamanları en aza indirmek için yapılan MHD çalışmalarıdır. Önerilen çok amaçlı insan robot iş birliği ile MHD yaklaşımı Şekil 1' de özetlenmiştir. Buna göre, ilk olarak

montaj hattı üzerinde gerçekleştirilecek olan görevlerin insan-robot işlem süreleri ve öncelik ilişkileri belirlenmiştir. Gerekli kısıtlar tanımlanıp, matematiksel model geliştirilmiş ve kodlanmıştır. Birbiriyle çelişen üç amaca göre (çevrim zamanı, istasyon sayısı ve insan-robot maliyetinin minimize edilmesi) matematiksel modelin çözülebilmesi için çok amaçlı hedef programlama yöntemi kullanılmıştır. Bu üç amaca ait farklı öncelik sırası kombinasyonları için modelden 6 farklı alternatif sonuç elde edilmiştir. Elde edilen alternatif çözümler, insan-robot operatör maliyeti, çevrim süresi, iş istasyonu sayısı, hat etkinliği, düzgünlük indeksi ve denge gecikmesi olmak üzere 6 kriter açısından ÇKKV yöntemleri ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma için kriter ağırlıkları BWM yöntemiyle belirlenmiş, bulunan ağırlıklar ile MABAC yöntemi kullanılarak alternatifler sıralanmıştır. Son olarak en uygun alternatif çözüm belirlenmiştir.



Şekil 1: Önerilen insan robot iş birliği ile çok amaçlı MHD yaklaşımı

Önerilen yaklaşım ile literatürde yer alan çalışmalarda uygulandığı üzere her istasyona atanacak robot türünü belirlemeye, robot ve insanların istasyonlara en iyi şekilde atanmasına olanak sağlamaya, istasyonlara görev atamaya çalışılmıştır. Bütün bunları yaparken robot/insan çalışanların sayısı ve maliyeti, çevrim süresini, istasyon sayısı minimize edilmeye ve de hat dengesi ve verimliliği artırılmaya odaklanılmıştır.

Adım 1: Montaj Hattı Üzerinde Gerçekleştirilecek Görevlerin Belirlenmesi

Bir ürünün bir montaj hattı üzerinde insan ve robot varsayımına dayanarak, öncelik ilişkileri diyagramı, dakika cinsinden görev süreleri ve robot- işçi maliyetleri belirlenmiştir.

Adım 2: İnsan-Robot İş Birliği ile MHD Probleminin Modellenmesi

İlk olarak verilerden yola çıkarak Cı1 ve ark. [47] çalışmalarında kullanılan matematiksel modeli geliştirerek bir matematiksel model sunulmuştur.

Bu çalışmada farklı amaçlar kullanılarak ve bu amaçlar karşılaştırılarak en iyi MHD' yi bulmak amaçlanmıştır.

Kabullenmelerimiz ve kısıtlarımız şu şekildedir;

- Bütün işlerin süreleri bellidir ve bilinmektedir.
- İnsan-robot operatör maliyetleri bellidir ve bilinmektedir.
- İnsanın çalıştığı istasyonda robot çalışamaz, robotun çalıştığı istasyonda insan çalışamaz.
- Görevler arasındaki öncelik ilişkileri bilinmektedir.
- İnsana ve robotlara ait olan görevler bilinmektedir.
- İstasyonlar arasındaki ara stoklara izin verilmemektedir.
- Görevlerin bölünmesine izin verilmemektedir.
- Her istasyonda sadece bir robot veya insan çalışabilir.
- Tüm robotlar herhangi bir sınırlama olmaksızın çalışmaktadır.
- Kurulum süreleri ve malzeme taşıma süreleri ihmal edilebilir.
- Arızalar ve durmalar dikkate alınmamıştır.

Notasyon

i, k : Görev indeksi ($i=1, \dots, \dot{I}; k=1, \dots, K$)

r : Operatör ($r=1, \dots, R$)

j : İstasyon ($1, \dots, J$)

t_{ir} : Operatör için i . görevin işlem süresi

P : Öncelik ilişkileri kümesi

$(i, k) \in P$: Bir öncelik ilişkisi; i görevi k görevinin komşu öncülüdür

C : Çevrim zamanı

B : Büyük sayı

RC_r : R operatörüne ait maliyet

$f(r)$: Robot operatör

$m(r)$: İnsan operatör

Karar Değişkenleri

$X_{ijr} \in \{0, 1\}$: Eğer i görevi j istasyonunda r operatörü tarafından gerçekleştirilirse 1, dd. 0

$Y_{ij} \in \{0, 1\}$: Eğer i görevi j istasyonuna atanmışsa 1, dd. 0

$A_{jr} \in \{0, 1\}$: Eğer r operatörü j istasyonuna atandıysa 1, dd. 0

$Z_j \in \{0, 1\}$: j istasyonu açılmışsa 1, dd. 0

İnsan-Robot İş Birliği ile MHD Problemi için Matematiksel Model

Kısıtlar

$$\sum_{j=1}^J Y_{ij} = 1 \quad \forall i \quad (3.1)$$

$$\sum_{r=1}^R X_{ijr} = Y_{ij} \quad \forall i, j \quad (3.2)$$

$$B * (1 - A_{jr}) \geq \sum_{m=1}^M A_{jm} \quad \forall j, f \quad (3.3)$$

$$\sum_{j=1}^J \sum_{r=1}^R j * Y_{ij} \leq \sum_{j=1}^J \sum_{r=1}^R j * Y_{kj} \quad \forall (i, k) \in P \quad (3.4)$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{r=1}^R t_{ir} * X_{ijr} \leq C \quad \forall j \quad (3.5)$$

$$\sum_{r=1}^R A_{jr} \leq 1 \quad \forall j \quad (3.6)$$

$$\sum_{j=1}^J \sum_{r=1}^R A_{jr} \leq J \quad (3.7)$$

$$\sum_{i=1}^I X_{ijr} \leq B * A_{jr} \quad \forall j, r \quad (3.8)$$

$$\sum_{r=1}^R A_{jr} \leq B * Z_j \quad \forall j \quad (3.9)$$

$$X_{ijr}, Y_{ij}, A_{jr}, Z_j \in \{0,1\} \quad \forall i, j, r \quad (3.10)$$

Kısıt (3.1), her görevin yalnızca bir istasyona atanabilmesini sağlar. Kısıt (3.2), istasyona bir robot veya bir insan operatör atanabilmesini sağlar.

Bu çalışmada, hibrit montaj: insanın ve robotun birlikte çalışması durumuna ek olarak aynı istasyona insan ve robot birlikte çalışmasının sakıncalı olduğu durumların da göz önünde bulundurulmuştur. Bu durum Kısıt (3.3) ile bir istasyona aynı anda insan ve robot operatörü atanması engellenerek sağlanmıştır.

Kısıt (3.4), öncelik ilişkileri kısıtıdır. Kısıt (3.5), her istasyon için toplam görev süresinin çevrim zamanını aşmamasını sağlar. Kısıt (3.6), en fazla bir operatörün bir istasyona atanmasını sağlar. Kısıt (3.7), kullanılan operatörlerin toplam sayısının önceden belirlenmiş istasyon sayısından daha büyük olamayacağını sağlayan kısıttır. Kısıt (3.8), j istasyonuna bir görev r operatörü tarafından atanırsa, operatör r'nin j istasyonuna atanmasını sağlar. Kısıt (3.9) istasyon açılmışsa 1, açılmamışsa 0 değerini almasını sağlar. Kısıt (3.10), işaret kısıtıdır.

Adım 3: İnsan-Robot İş Birliği ile Çok Amaçlı MHD Hedef Programlama ile Çözümü

Hedef 1: Çevrim zamanı, her istasyon için önceden belirlenmiş süreyi aşamaz.

$$\text{Min } C + d_1^- - d_1^+ = \text{Önceden belirlenmiş çevrim zamanı} \quad (3.11)$$

Hedef 2: Önceden belirlenmiş sayıda iş istasyonu karar verici tarafından karşılaştırılırsa, aşağıdaki kısıt yazılabilir;

$$\sum_{j=1}^J Z_j + d_2^- - d_2^+ = \text{Önceden belirlenmiş istasyon sayısı} \quad (3.12)$$

d_2^+ değişkeni 0' a indirilirse toplam istasyon sayısı önceden belirlenmiş istasyon sayısına eşit olacaktır.

Hedef 3: İstasyonda kullanılan operatörün maliyeti, karar verici tarafından karşılaştırılırsa aşağıdaki kısıt kullanılabilir;

$$\sum_{j=1}^J \sum_{r=1}^R (A_{jr} * RC_r) + d_3^- - d_3^+ = \text{Önceden belirlenmiş maliyet} \quad (3.13)$$

d_3^+ değişkeni 0' a indirilirse toplam maliyet, önceden belirlenmiş maliyete eşit olacaktır. Hedef programlama modeli aşağıdaki gibi formüle edilmiştir;

$$\begin{aligned} & \text{LEXMIN} [d_1^+, d_2^+, d_3^+] \\ & \text{Hedef kısıtları: (3.11), (3.12), (3.13)} \\ & \text{Sistem kısıtları: (3.1)-(3.10)} \\ & \text{İşaret kısıtı: } d_1^+, d_2^+, d_3^+, d_1^-, d_2^-, d_3^- \geq 0 \end{aligned} \quad (3.14)$$

ADIM 4: İnsan-Robot İş Birliği ile MHD Alternatiflerinin ÇKKV Yöntemi ile Değerlendirilmesi

BWM yöntemiyle kriterlerin ağırlıkları belirlenip, MABAC yöntemiyle alternatifler sıralanmış ve uygun alternatif seçilmiştir.

ADIM 4.1: İnsan-Robot İş Birliği ile MHD Kriter Ağırlıklarının BWM ile Belirlenmesi

Alternatifler belirlendikten sonra BWM yöntemiyle her alternatifin ağırlıkları hesaplanmıştır. BWM yöntemi Rezaei tarafından 2015 yılında geliştirilmiştir [48].

BWM yöntemi 5 aşamadan oluşmaktadır [49];

Aşama 1: Kriter kümesi belirlenir.

$$\{c_1, c_2, \dots, c_n\}$$

Aşama 2: Kriter kümesinden en iyi ve en kötü kriterler belirlenir.

Aşama 3: Diğer kriterler en iyi kriterle karşılaştırılır. Kriterlerin karşılaştırılması ve önem seviyesinin belirlenmesi için 1-9 arası rakamlar verilir.

(1= eşit önemde, 3= biraz daha önemli, 5= oldukça önemli, 7= çok önemli, 9= son derece önemli, 2, 4, 6, 8= ara değerler)

En iyi ve diğerleri vektörü;

$$A_B = (a_{B1}, a_{B2}, \dots, a_{Bn}) \quad (3.15)$$

En iyi ve diğerleri vektöründe α_{Bj} , kriter j üzerindeki en iyi kriter B' nin önemini belirtir. Ayrıca $\alpha_{BB}=1$ ' dir.

Aşama 4: Diğer kriterler en kötü kriterle karşılaştırılır. Kriterlere karşılaştırmalarda 1-9 arası rakamlar verilir.

En kötü ve diğerleri vektörü;

$$\mathbf{A}_w = (\mathbf{a}_{1w}, \mathbf{a}_{2w}, \dots, \mathbf{a}_{nw})^T \quad (3.16)$$

En kötü ve diğerleri vektöründe α_{jw} , en kötü kriter w üzerindeki kriter j' nin önemini belirtir. Ayrıca $\alpha_{ww}=1$ ' dir.

Aşama 5: Optimal ağırlıklar bulunur. Aşağıdaki modeli çözerek optimal ağırlıklar ($w_1^*, w_2^*, \dots, w_n^*$) ve ζ^L elde edilir.

s.t.

$$|\mathbf{w}_B - \mathbf{a}_{Bj}\mathbf{w}_j| \leq \zeta^L, \text{ for all } j \quad (3.17)$$

$$|\mathbf{w}_j - \mathbf{a}_{jw}\mathbf{w}_w| \leq \zeta^L, \text{ for all } j \quad (3.18)$$

$$\sum_j \mathbf{w}_j = \mathbf{1} \quad (3.19)$$

$$\mathbf{w}_j \geq \mathbf{0}, \text{ for all } j \quad (3.20)$$

Bu model için, ζ^L karşılaştırmaların tutarlılığını gösterir. Sıfıra yakın ζ^L değerleri yüksek bir tutarlılık seviyesini gösterir.

ADIM 4.2: Alternatiflerin MHD Kriter Ağırlıklarına Göre MABAC ile Sıralanması

MABAC yöntemiyle ağırlıkları hesaplanan alternatiflerin değerlendirilmesi yapılmıştır. MABAC yöntemi Pamučar & Ćirović tarafından 2015 yılında geliştirilmiştir [50]. MABAC yöntemi 6 aşamadan oluşmaktadır;

Aşama 1: Karar matrisi oluşturulur (X). x_{ij} j kriterine göre i alternatifinin değerini gösterir. ($i=1,2,\dots,m$; $j=1,2,\dots,n$) m alternatif sayısını, n ise kriter sayısını ifade eder.

$$X = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \dots \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (3.21)$$

Aşama 2: Karar matrisi normalize edilir.

$$N = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \dots \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} n_{11} & n_{12} & \dots & n_{1n} \\ n_{21} & n_{22} & & n_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ n_{m1} & n_{m2} & \dots & n_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (3.22)$$

Normalize edilmiş matrisin(N) elemanları aşağıdaki denklemler kullanılarak belirlenir:

- Fayda türü kriterler için (kriterin daha yüksek bir değeri tercih edilir)

$$n_{ij} = \frac{x_{ij} - x_i^-}{x_i^+ - x_i^-} \quad (3.23)$$

- Maliyet türü kriterler için (kriterin daha düşük bir değeri tercih edilir)

$$n_{ij} = \frac{x_i^- - x_{ij}}{x_i^- - x_i^+} \quad (3.24)$$

x_{ij} , x_i^+ , x_i^- karar matrisinin(X) elemanları olup x_i^+ ve x_i^- aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.
 $x_i^+ = \max(x_1, x_2, \dots, x_m)$ ve alternatiflere göre gözlemlenen kriterin maksimum değeridir.
 $x_i^- = \min(x_1, x_2, \dots, x_m)$ ve alternatiflere göre gözlemlenen kriterin minimum değeridir.

Aşama 3: Ağırlıklandırılmış karar matrisi (V) oluşturulmasıdır. n_{ij} normalize edilmiş matrisin (N) elemanı ve w_i kriter ağırlıkları olup ağırlaştırılmış karar matrisinin (V) elemanları aşağıdaki denkleme göre hesaplanır;

$$v_{ij} = w_i * (n_{ij} + 1) \quad (3.25)$$

n toplam kriter sayısını ve m toplam alternatif sayısı olup yukarıdaki denklem kullanılarak ağırlaştırılmış karar matrisi V'yi aşağıdaki gibi elde edilir.

$$V = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \dots & v_{1n} \\ v_{21} & v_{22} & & v_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ v_{m1} & v_{m2} & \dots & v_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_1 * (n_{11} + 1) & w_2 * (n_{12} + 1) & \dots & w_n * (n_{1n} + 1) \\ w_1 * (n_{21} + 1) & w_2 * (n_{22} + 1) & \dots & w_n * (n_{2n} + 1) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_1 * (n_{m1} + 1) & w_2 * (n_{m2} + 1) & \dots & w_n * (n_{mn} + 1) \end{bmatrix} \quad (3.26)$$

Aşama 4: Sınır yakınlık alanı matrisinin (G) belirlenmesi. v_{ij} ağırlıklandırılmış karar matrisinin (V) elemanı ve m toplam alternatif sayısı olup her bir kriter için sınır yakınlık alanı (BAA) aşağıdaki denkleme göre hesaplanır.

$$g_i = \left(\prod_{j=1}^m v_{ij} \right)^{1/m} \quad (3.27)$$

Her bir kriter için g_i değeri hesaplandıktan sonra n x1 boyutunda sınır yakınlık alanı matrisi (G) oluşturulur. (n toplam kriter sayısı)

$$G = \begin{bmatrix} C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ g_1 & g_2 & \dots & g_n \end{bmatrix} \quad (3.28)$$

Aşama 5: Alternatiflerin sınır yakınlık alanını olan uzaklıkları hesaplanır ve (Q) matrisi elde edilir.

$$Q = \begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} & \dots & q_{1n} \\ q_{21} & q_{22} & & q_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ q_{m1} & q_{m2} & \dots & q_{mn} \end{bmatrix} \quad (3.29)$$

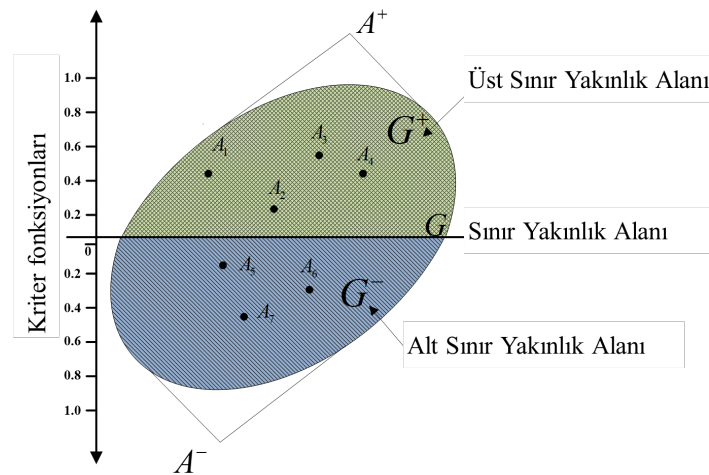
g_i kriter C_i 'ye olan sınır yakınlık alanı değeri ve v_{ij} ağırlıklandırılmış karar matrisi (V)'nin elemanı, n kriter sayısı, m alternatif sayısı olup alternatiflerin sınır yakınlık alanına (q_{ij}) uzaklığı, ağırlıklandırılmış karar matrisi (V) ile sınır yakınlık alanı uzaklığı matrisi (G) arasındaki farka eşittir.

$$Q = V - G = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \dots & v_{1n} \\ v_{21} & v_{22} & & v_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ v_{m1} & v_{m2} & \dots & v_{mn} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} g_1 & g_2 & \dots & g_n \\ g_1 & g_2 & & g_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ g_1 & g_2 & \dots & g_n \end{bmatrix} \quad (3.30)$$

$$Q = \begin{bmatrix} v_{11} - g_1 & v_{12} - g_2 & \dots & v_{1n} - g_n \\ v_{21} - g_1 & v_{22} - g_2 & \dots & v_{2n} - g_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ v_{m1} - g_1 & v_{m2} - g_2 & \dots & v_{mn} - g_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} & \dots & q_{1n} \\ q_{21} & q_{22} & & q_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ q_{m1} & q_{m2} & \dots & q_{mn} \end{bmatrix} \quad (3.31)$$

Yapılan hesaplama sonucunda, A_i alternatifi konumlandırılır. Bu bölgeler ise Sınır Yakınlık Alanı (G), Üst Yakınlık Alanı (G+) ve Alt Yakınlık Alanı (G-) şeklindedir. G+ bölgesi ideal alternatifi içerirken, G- bölgesi ise negatif-ideal alternatifi içermektedir. Bu doğrultuda A_i alternatifinin G, G+ ve G- bölgelerine göre eşitlik yardımıyla belirlenir.

Alternatif A_i sınır yakınlık alanına olan uzaklığına göre Sınır Yakınlık (G), Üst Sınır Yakınlık (G+) veya Alt Sınır Yakınlık (G-) alanlarından birine ait olabilir. $A_i \in \{G \cup G+ \cup G-\}$. Üst Sınır Yakınlık Alanı (G+) ideal alternatifleri (A^+) içerir. Alt Yakınlık Alanı (G-) negatif ideal alternatifleri (A^-) içerir.



Şekil 2: MABAC Yöntemi Sınır Yakınlık Alanı

Alternatif A_i 'nin yakınlık alanlarından (G, G^+ veya G^-) hangisine ait olduğu aşağıdaki denkleme göre belirlenir.

$$A_i \in \begin{cases} G^+ & \text{if } q_{ij} > 0 \\ G & \text{if } q_{ij} = 0 \\ G^- & \text{if } q_{ij} < 0 \end{cases} \quad (3.32)$$

Alternatif A_i 'nin küme içerisinde en iyi seçilebilmesi için kriter skorlarının çoğunun üst yakınlık alanında (G^+) yer alması gerekmektedir. Eğer $q_{ij} > 0$, ise $q_{ij} \in G^+$, alternatif A_i ideal alternatife yakın veya eşittir. Eğer $q_{ij} < 0$, ise $q_{ij} \in G^-$, alternatif A_i anti-ideal alternatife yakın veya eşittir.

Aşama 6: Alternatiflerin sıralanması.

Aşağıdaki denklemin sonucunda hesaplanan S_i değerine sahip alternatif optimal alternatiftir.

$$S_i = \sum_{j=1}^n q_{ij}, j = 1, 2, \dots, n, i = 1, 2, \dots, m \quad (3.33)$$

4. Çok Amaçlı İnsan-Robot İş Birliği ile MHD için Örnek Uygulama

Önerilen Çok Amaçlı İnsan-Robot İş Birliği ile MHD yaklaşımı ve adımları örnek bir uygulama ile açıklanmıştır.

Adım 1: Montaj Hattı Üzerinde Gerçekleştirilecek Görevlerin Belirlenmesi

Örnek uygulamada kullanılan bir ürüne ait bir montaj hattı üzerinde insan ve robot varsayımına dayanarak ait öncelik ilişkileri diyagramı, dakika cinsinden görev süreleri ve robot- işçi maliyetleri veri seti <http://www.assembly-line-balancing.de/> adresinden veri oluşturma yönteminden yararlanılarak oluşturulmuştur [16].

Tablo 1:Öncelik İlişkileri Tablosu

| Görevler | Komsu Öncülü | Görevler | Komsu Öncülü |
|----------|--------------|----------|--------------|
| 1 | - | 14 | 13 |
| 2 | - | 15 | 12 |
| 3 | 1, 2 | 16 | 14 |
| 4 | 3 | 17 | 15 |
| 5 | 4 | 18 | 16, 17 |
| 6 | 5 | 19 | 14 |
| 7 | 6 | 20 | 14 |
| 8 | 4 | 21 | 20 |
| 9 | 8 | 22 | 15, 19, 21 |
| 10 | 6, 9 | 23 | 17 |
| 11 | 7, 8 | 24 | - |
| 12 | 7 | 25 | 18, 20, 23 |
| 13 | 9, 11 | | |

Tablo 2: Operatörlerin Görev Süreleri

| Görevler | Robot 1 | Robot 2 | Robot 3 | Robot 4 | İnsan 1 | İnsan 2 | İnsan 3 | İnsan 4 |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | 98 | 39 | 35 | 137 | - | - | - | - |
| 2 | - | - | - | - | 116 | 119 | 130 | 126 |
| 3 | 84 | 88 | 156 | 96 | - | - | - | - |
| 4 | 97 | 18 | 48 | 64 | - | - | - | - |
| 5 | - | - | - | - | 27 | 29 | 47 | 43 |
| 6 | 37 | 24 | 144 | 57 | - | - | - | - |
| 7 | 175 | 36 | 59 | 97 | - | - | - | - |
| 8 | - | - | - | - | 21 | 31 | 36 | 40 |
| 9 | 35 | 41 | 96 | 31 | - | - | - | - |
| 10 | - | - | - | - | 99 | 110 | 100 | 113 |
| 11 | 33 | 50 | 51 | 43 | - | - | - | - |
| 12 | - | - | - | - | 77 | 79 | 87 | 97 |
| 13 | 181 | 41 | 19 | 56 | - | - | - | - |
| 14 | - | - | - | - | 100 | 110 | 120 | 118 |
| 15 | - | - | - | - | 41 | 49 | 46 | 52 |
| 16 | 34 | 59 | 89 | 76 | - | - | - | - |
| 17 | 129 | 137 | 65 | 66 | - | - | - | - |
| 18 | - | - | - | - | 32 | 42 | 36 | 30 |
| 19 | - | - | - | - | 33 | 31 | 39 | 53 |
| 20 | 103 | 181 | 55 | 107 | - | - | - | - |
| 21 | 52 | 54 | 53 | 23 | - | - | - | - |
| 22 | 54 | 31 | 40 | 35 | - | - | - | - |
| 23 | - | - | - | - | 31 | 38 | 28 | 42 |
| 24 | 66 | 63 | 183 | 96 | - | - | - | - |
| 25 | 90 | 44 | 34 | 59 | - | - | - | - |

Tablo 3: Operatör Maliyet Tablosu

| Operatör Maliyetleri | | | | | | | |
|----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Robot 1 | Robot 2 | Robot 3 | Robot 4 | İnsan 1 | İnsan 2 | İnsan 3 | İnsan 4 |
| 500 | 750 | 1000 | 900 | 50 | 45 | 48 | 40 |

Adım 2: İnsan-Robot İş Birliği ile MHD Probleminin Modellenmesi

Örnek uygulamada Tablo 1’ de yer alan öncelik ilişkileri tablosu, Tablo 2’ de verilen görev süreleri ve Tablo 3’ deki maliyete göre İnsan-Robot İş Birliği ile MHD Probleminin matematiksel modeli oluşturulmuş ve model GAMS programı aracılığıyla kodlanmıştır. Tablo 2’ de yer alan görev sürelerinde “-“ işareti ile gösterilen işler insan ya da robot operatör tarafından gerçekleştirilemeyeceğini göstermektedir.

Adım 3: Çok Amaçlı İnsan-Robot İş Birliği ile MHD’nin Hedef Programlama ile Çözümü

Montaj hatların performansı çok ve birbirleriyle çelişen amaçlarla değerlendirilir. Bu bakımdan önerilen yaklaşımda MHD çözümleri çevrim zamanı, istasyon sayısı, insan-robot maliyet amaçları bakımından optimize edilmiştir. Bu amaçların öncelik sıralamaları üretilen ürüne, firmaya, MHD’ nin teknik vb. durumlara göre farklılık göstermektedir. Bu nedenle üç amacın önem sırasından bağımsız olarak optimal MHD çözümü için Çok Amaçlı İnsan-Robot İş Birliği ile MHD yaklaşımı önerilmiştir. Bu yaklaşımda İnsan-Robot İş Birliği ile MHD Problemi 3 amacın (1. Çevrim zamanı, 2. İstasyon sayısı, 3. İnsan-robot maliyet) Tablo 4’ te verilen farklı öncelik sıralamalarına göre sırasıyla 6 kez çalıştırılmış ve sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 4:Hedef Programlama öncelik seviyelerine göre alternatif MHD çözümleri

| | Öncelik 1 | Öncelik 2 | Öncelik 3 | Hedef Programlama |
|---|------------------------|------------------------|------------------------|--|
| 1 | 1. Çevrim zamanı | 2. İstasyon sayısı | 3.İnsan-robot maliyet | LEXMIN [d ₁ ⁺ , d ₂ ⁺ , d ₃ ⁺] |
| 2 | 1. Çevrim zamanı | 3. İnsan-robot maliyet | 2. İstasyon sayısı | LEXMIN [d ₁ ⁺ , d ₃ ⁺ , d ₂ ⁺] |
| 3 | 2. İstasyon sayısı | 1. Çevrim zamanı | 3. İnsan-robot maliyet | LEXMIN [d ₂ ⁺ , d ₁ ⁺ , d ₃ ⁺] |
| 4 | 2. İstasyon sayısı | 3. İnsan-robot maliyet | 1. Çevrim zamanı | LEXMIN [d ₂ ⁺ , d ₃ ⁺ , d ₁ ⁺] |
| 5 | 3. İnsan-robot maliyet | 1. Çevrim zamanı | 2. İstasyon sayısı | LEXMIN [d ₃ ⁺ , d ₁ ⁺ , d ₂ ⁺] |
| 6 | 3. İnsan-robot maliyet | 2. İstasyon sayısı | 1. Çevrim zamanı | LEXMIN [d ₃ ⁺ , d ₂ ⁺ , d ₁ ⁺] |

Adım 4: Mhd Alternatiflerinin Çkkv Yöntemi İle Değerlendirilmesi

MHD sonuçları aşağıda açıklanan 6 kriter açısından değerlendirilmiştir. Bu kriterler:

1. İnsan-robot operatör maliyeti: İnsan ve robotun istasyonda görevlerini yerine getirirken oluşturdukları maliyettir.

2. Çevrim süresi: Bir istasyonun tanımlanan görevlerini tamamlayabilmesi için verilen süredir. Bu zaman montaj hattı üzerinde tanımlanan tüm istasyonlar için eşittir.

$$\text{Çevrim Zamanı (C)} = P/D$$

P: Planlama Periyodu

D: Talep

3. İş istasyonu sayısı: Hat üzerinde çalışanların görevlerini yerine getirebilmesi için ayarlanmış bölümlerdir. Bu alanlar gözle görülebilecek bölümler olduğu gibi gözle görülemeyen sınırlarla ayrılmış bölümler de olabilmektedir.

4. Hat etkinliği: İyileştirilmiş bir hattın performansı hakkında doğru yorum yapmamızı sağlayan en önemli kriterlerden biridir.

$$LE(\%) = \frac{T}{K * C} * 100 = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{K * C} * 100 \quad (4.1)$$

K = Elde edilen istasyon sayısı

5. Düzensizlik indeksi: MHD problemi sonucunda elde edilen istasyon işlem sürelerinin düzensizliğini ifade eden bir göstergedir.

$$SI(\%) = \frac{\sqrt{\sum (WT_{max} - WT_k)^2}}{K * C} * 100 \quad (4.2)$$

WT_k = k istasyonunun zamanı

WT_{max} = İş istasyonu zamanının en büyüğü

WT_{max} = max{WT_k}

k = 1, ..., K

6. Denge gecikmesi: Hattaki tüm istasyonların boş zamanlarının toplam harcadığı zamana oranıdır.

$$BD(\%) = \frac{TT}{K * C} * 100 = \frac{K * C - \sum_{i=1}^N t_i}{K * C} * 100 \quad (4.3)$$

Denge gecikmesi ve hat etkinliğinin toplamı %100' e eşittir.

$$BD(\%) = 100 - LE(\%) \quad (4.4)$$

Berlirlenen kriterlerin ağırlıkları BWM yöntemiyle belirlenmiş, MABAC yöntemiyle de alternatifler sıralanmış ve uygun alternatif seçilmiştir.

ADIM 4.1: MHD Kriter Ağırlıklarının BWM İle Belirlenmesi

İlk adımda en iyi kriter çevrim süresi olarak belirlenmiş ve bu kriterin diğerleri ile olan karşılaştırmaları Tablo 5' te verildiği üzere yapılmıştır.

Tablo 5: MHD Kriterlerinden En İyi ve Diğerleri Vektörü

| En İyi ve Diğerleri | Çevrim Süresi | İstasyon Sayısı | Toplam İnsan-Robot Operatör Maliyeti | Hat Etkinliği | Denge Gecikmesi | Düzensizlik İndeksi |
|---------------------|---------------|-----------------|--------------------------------------|---------------|-----------------|---------------------|
| Çevrim Süresi | 1 | 2 | 3 | 6 | 7 | 9 |

Daha sonra en kötü kriter olarak düzensizlik indeksi belirlenmiş ve bu kriterin diğerleri ile olan karşılaştırmaları Tablo 6' da verildiği üzere yapılmıştır.

Tablo 6: MHD Kriterlerinden En Kötü ve Diğerleri Vektörü

| En Kötü ve Diğerleri | Düzensizlik İndeksi |
|--------------------------------------|---------------------|
| Çevrim Süresi | 9 |
| İstasyon Sayısı | 7 |
| Toplam İnsan-Robot Operatör Maliyeti | 5 |
| Hat Etkinliği | 3 |
| Denge Gecikmesi | 2 |
| Düzensizlik İndeksi | 1 |

Tablo 5 ve 6' da verilen kriterlerinin birbirleri ile karşılaştırmaları MHD alanında uzman kişilerden alınan bilgiler ışığında gerçekleştirilmiştir. Bu model için, karşılaştırmaların tutarlılığını gösteren ζ^L değeri **0,0512** olup yüksek bir tutarlılık seviyesindedir. Tablo 5 ve 6'daki verilere istinaden BWM adımları yerine getirildiğinde kriter ağırlıkları Tablo 7' de verildiği üzere hesaplanmıştır.

Tablo 7: MHD Kriterler Ağırlıkları

| AĞIRLIKLAR | Çevrim Süresi | İstasyon Sayısı | Toplam İnsan-Robot Operatör Maliyeti | Hat Etkinliği | Denge Gecikmesi | Düzensizlik İndeksi |
|------------|---------------|-----------------|--------------------------------------|---------------|-----------------|---------------------|
| | 0,4202 | 0,2357 | 0,1571 | 0,0785 | 0,0673 | 0,0409 |

Adım 4.2: Alternatiflerin Mhd Kriter Ağırlıklarına Göre Mabac İle Sıralanması

Adım 3' te elde edilen sonuçlara göre karar matrisi Tablo 8' deki gibi elde edilmiştir. Karar matrisi incelendiğinde 3 adet pareto çözüm elde edildiği görülmektedir. Pareto çözümler arasından en iyi olanı BWM yöntemi ile belirlenen karar vericilerin kriter ağırlıkları tercihleri bilgisi ışığında belirlenmiştir.

Tablo 8: Karar Matrisi

| | Amaçların öncelik sırası | Min | Min | Min | Max | Min | Max |
|---|--|---------------|-----------------|-------------------|---------------|-----------------|---------------------|
| | | Çevrim Süresi | İstasyon Sayısı | Operatör Maliyeti | Hat Etkinliği | Denge Gecikmesi | Düzensizlik İndeksi |
| 1 | LEXMIN [d_1^+ , d_2^+ , d_3^+] | 116 | 15 | 5550 | 83,05 | 16,95 | 5,77 |
| 2 | LEXMIN [d_1^+ , d_3^+ , d_2^+] | 116 | 15 | 5550 | 83,05 | 16,95 | 5,77 |
| 3 | LEXMIN [d_2^+ , d_1^+ , d_3^+] | 218 | 8 | 3178 | 82,28 | 17,72 | 10,26 |
| 4 | LEXMIN [d_2^+ , d_3^+ , d_1^+] | 461 | 8 | 2160 | 53,74 | 46,26 | 19,42 |
| 5 | LEXMIN [d_3^+ , d_1^+ , d_2^+] | 461 | 8 | 2160 | 53,74 | 46,26 | 19,42 |
| 6 | LEXMIN [d_3^+ , d_2^+ , d_1^+] | 461 | 8 | 2160 | 53,74 | 46,26 | 19,42 |









Kriterlerin fayda/maliyet olmasına bağlı olarak normalizasyon işlemi uygulanmış ve

MABAC yaklaşımının diğer adımları da yerine getirilerek alternatiflerin sıralanması Tablo 9' daki gibi elde edilmiştir.

Tablo 9: Alternatiflerin sıralanması

| | Amaçların öncelik sırası | Sıralama |
|---|--|----------|
| 1 | LEXMIN [d_1^+ , d_2^+ , d_3^+] | 2 |
| 2 | LEXMIN [d_1^+ , d_3^+ , d_2^+] | 2 |
| 3 | LEXMIN [d_2^+ , d_1^+ , d_3^+] | 1 |
| 4 | LEXMIN [d_2^+ , d_3^+ , d_1^+] | 3 |
| 5 | LEXMIN [d_3^+ , d_1^+ , d_2^+] | 3 |
| 6 | LEXMIN [d_3^+ , d_2^+ , d_1^+] | 3 |

BWM- MABAC yöntemine göre alternatifler sıralanmış ve en uygun MHD sonucu Hedef 2 (istasyon sayısının minimize edilmesi)- Hedef 1(çevrim süresinin minimize edilmesi)- Hedef 3 (insan robot maliyetinin minimize edilmesi) öncelik sıralamasından elde edilen 3. modelin çalıştırılması sonucu elde edilmiştir. Bu sonuca göre istasyon atamaları Şekil 3' teki gösterilmiştir.

| 1. İstasyon | 2. İstasyon | 3. İstasyon | 4. İstasyon | 5. İstasyon | 6. İstasyon | 7. İstasyon | 8. İstasyon |
|---|---|---|---|---|--|---|---|
| | 1 (39 sn) | | 6 (24 sn) | | | 10 (100 sn) | 20 (55 sn) |
| 2 (126 sn) | 3 (88 sn) | 5 (43 sn) | 7 (36 sn) | 12 (77 sn) | 16 (34 sn) | 18 (36 sn) | 21 (53 sn) |
| | 4 (18 sn) | 8 (40 sn) | 9 (41 sn) | 14 (100 sn) | 17 (129 sn) | 19 (39 sn) | 22 (40 sn) |
| | 24 (63 sn) | | 11 (50 sn) | 15 (41 sn) | | 23 (28 sn) | 25 (34 sn) |
| Toplam = 126 sn | Toplam = 208 sn | Toplam = 83 sn | Toplam = 192 sn | Toplam = 218 sn | Toplam = 163 sn | Toplam = 203 sn | Toplam = 182 sn |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| İnsan-4 (40 PB) | Robot-2 (750 PB) | İnsan-4 (40 PB) | Robot-2 (750 PB) | İnsan-1 (50 PB) | Robot-1 (500 PB) | İnsan-3 (48 PB) | Robot-3 (1000 PB) |

Şekil 3: İnsan-robot iş birliği ile MHD problemindeki istasyona iş ve operatör atama sonuçları

Sonuç olarak;

- Toplamda **8 istasyon** açılmıştır.
- İstasyonlara görevlerin atanmasının yanı sıra, göreve uygun insan veya robot operatör ataması da yapılmıştır. Bazı görevlerin insan operatör bazı görevlerin de robot operatör tarafından yapılabileceği göz önünde bulundurulmuştur. 1. istasyona sadece 2. görev ve bu görevi yapmak üzere insan operatör-4 40 PB maliyetle atanmıştır. 2. istasyona da 1,3,4 ve 24. görevler ve bu görevleri yerine getirmek üzere Robot-2 operatörü 750 PB ile atanmıştır.
- Çevrim süresi en yüksek toplam süreye sahip olan 5. istasyonun süresi **218 sn.** 'ye eşittir.
- Montaj hattının etkinliği **82,28**, denge gecikmesi **17,72**, düzgünlük indeksi **10,26** olarak elde edilmiştir.
- 1 adet İnsan 1 operatörü * 50 PB + 2 adet İnsan 4 operatörü * 40 PB + 1 adet İnsan 3 operatörü * 48 PB + 1 adet Robot 1 operatörü * 500 PB + 2 adet Robot 2 operatörü 750 PB + 1 adet Robot 3 operatörü * 1000 PB olmak üzere toplam operatör maliyeti **3178 PB** olarak tespit edilmiştir.

4.1. İnsan-Robot İş Birliği ile Çok Amaçlı MHD için Örnek Uygulama Duyarlılık Analizi

Karar vermede, karar kriterlerine verilen ağırlıklar, kriterlerin gerçek önemini göstermeye çalışır. Kriterler nicel olarak ifade edilemediğinde, bu kriterlerin önemini doğru bir şekilde ortaya koymak zordur. Çoğu durumda, karar verme süreci kritik kriterleri belirler ve ardından kriter ağırlıklarını değerlendirir. Sezgisel olarak, en yüksek ağırlığa sahip kriterin en kritik olduğu düşünülür. Bu her zaman doğru olmayabilir ve bazı durumlarda daha düşük ağırlıklı kriter daha kritik olabilir. Diğer bir deyişle, alternatiflerin mevcut sıralamasının, karar kriterlerinin mevcut ağırlıklarındaki değişikliklere ne kadar duyarlı olduğu incelenmelidir [51]. Bu nedenle çalışmamızı güvenilirlik analizi ile desteklenmiştir. Bu bölüm, kriter ağırlıklarının sıralama üzerindeki etkisini belirlemek, kriterlerin ağırlığına göre alternatiflerin önceliklerinin değiştiği çeşitli senaryolar elde etmek ve sonuçların sağlamlığını incelemek için kriterlerin ağırlıkları üzerinde bir duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir.

Tablo 10: Duyarlılık Analizi

| | Alternatif Çözümler | LEXMIN [d_1^+, d_2^+, d_3^+] | LEXMIN [d_1^+, d_3^+, d_2^+] | LEXMIN [d_2^+, d_1^+, d_3^+] | LEXMIN [d_2^+, d_3^+, d_1^+] | LEXMIN [d_3^+, d_1^+, d_2^+] | LEXMIN [d_3^+, d_2^+, d_1^+] |
|-----------|---------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| | Kriterler | Çevrim Süresi | İstasyon Sayısı | Operatör Maliyeti | Hat Etkinliği | Denge Gecikmesi | Düzensizlik İndeksi |
| Orijinal | Kriter Ağırlığı | 0,4202 | 0,2357 | 0,1571 | 0,0785 | 0,0673 | 0,0409 |
| | Alternatif Sıralama | 2 | 2 | 1 | 3 | 3 | 3 |
| Deneme 1 | Kriter Ağırlığı | 0,2357 | 0,4202 | 0,1571 | 0,0785 | 0,0673 | 0,0409 |
| | Alternatif Sıralama | 3 | 3 | 1 | 2 | 2 | 2 |
| Deneme 2 | Kriter Ağırlığı | 0,1571 | 0,2357 | 0,4202 | 0,0785 | 0,0673 | 0,0409 |
| | Alternatif Sıralama | 3 | 3 | 1 | 2 | 2 | 2 |
| Deneme 3 | Kriter Ağırlığı | 0,0785 | 0,2357 | 0,1571 | 0,4203 | 0,0673 | 0,0409 |
| | Alternatif Sıralama | 2 | 2 | 1 | 3 | 3 | 3 |
| Deneme 4 | Kriter Ağırlığı | 0,0673 | 0,2357 | 0,1571 | 0,0785 | 0,4204 | 0,0409 |
| | Alternatif Sıralama | 2 | 2 | 1 | 3 | 3 | 3 |
| Deneme 5 | Kriter Ağırlığı | 0,0409 | 0,2357 | 0,1571 | 0,0785 | 0,0673 | 0,4205 |
| | Alternatif Sıralama | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| Deneme 6 | Kriter Ağırlığı | 0,4202 | 0,1571 | 0,2357 | 0,0785 | 0,0673 | 0,0409 |
| | Alternatif Sıralama | 2 | 2 | 1 | 3 | 3 | 3 |
| Deneme 7 | Kriter Ağırlığı | 0,4202 | 0,0785 | 0,1571 | 0,2358 | 0,0673 | 0,0409 |
| | Alternatif Sıralama | 2 | 2 | 1 | 3 | 3 | 3 |
| Deneme 8 | Kriter Ağırlığı | 0,4202 | 0,0673 | 0,1571 | 0,0785 | 0,2359 | 0,0409 |
| | Alternatif Sıralama | 2 | 2 | 1 | 3 | 3 | 3 |
| Deneme 9 | Kriter Ağırlığı | 0,4202 | 0,0409 | 0,1571 | 0,0785 | 0,0673 | 0,236 |
| | Alternatif Sıralama | 2 | 2 | 1 | 3 | 3 | 3 |
| Deneme 10 | Kriter Ağırlığı | 0,4202 | 0,2361 | 0,0785 | 0,1571 | 0,0673 | 0,0409 |
| | Alternatif Sıralama | 2 | 2 | 1 | 3 | 3 | 3 |
| Deneme 11 | Kriter Ağırlığı | 0,4202 | 0,2361 | 0,0673 | 0,0785 | 0,1572 | 0,0409 |
| | Alternatif Sıralama | 2 | 2 | 1 | 3 | 3 | 3 |
| Deneme 12 | Kriter Ağırlığı | 0,4202 | 0,2361 | 0,0409 | 0,0785 | 0,0673 | 0,1573 |
| | Alternatif Sıralama | 2 | 2 | 1 | 3 | 3 | 3 |
| Deneme 13 | Kriter Ağırlığı | 0,4202 | 0,2361 | 0,1574 | 0,0673 | 0,0785 | 0,0409 |
| | Alternatif Sıralama | 2 | 2 | 1 | 3 | 3 | 3 |
| Deneme 14 | Kriter Ağırlığı | 0,4202 | 0,2361 | 0,1574 | 0,0409 | 0,0673 | 0,0786 |
| | Alternatif Sıralama | 2 | 2 | 1 | 3 | 3 | 3 |
| Deneme 15 | Kriter Ağırlığı | 0,4202 | 0,2361 | 0,1574 | 0,0787 | 0,0409 | 0,0673 |
| | Alternatif Sıralama | 2 | 2 | 1 | 3 | 3 | 3 |

Tablo 10 da görüldüğü üzere kriter ağırlıklarının sonuçlarının sağlamlığını incelemek için 15 farklı deney içeren duyarlılık analizi yapılmıştır. Duyarlılık analizinde 6 farklı kriter (çevrim süresi, istasyon sayısı, operator maliyeti, hat etkinliği, denge gecikmesi, düzgünlük indeksi), kriter kritikliği açısından doğruluğu test edilmiştir. Yapılan duyarlılık analizinde LEXMIN [d2+, d1+, d3+] alternatif çözümünün sıralamasının 14 kez 1. sırada olduğu, LEXMIN [d1+, d2+, d3+] ve LEXMIN [d1+, d3+, d2+] alternatif çözümlerinin 12 kez 2. sırada olduğu, LEXMIN [d2+, d3+, d1+], LEXMIN [d3+, d1+, d2+] ve LEXMIN [d3+, d2+, d1+] alternatif çözümlerinin 12 kez 3. sırada olduğu görülmektedir. Orijinal problem alternatif çözümler sıralamasının ise yapılan 15 deney içerisinde sadece 3 kez değiştiği gözlemlenmiştir. Deneysel sonuçlara göre karar verme metodolojimizin sağlam olduğu ve kriter ağırlıklarına sınırlı olarak duyarlı olduğu çıkarılabilir.

5. Sonuç

Montaj hatlarında esnek üretim sistemine ulaşmak için robotik montaj hatlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Çünkü azalan ürün ömrü ve müşteri taleplerinin çeşitliliği robotik sistem kurmaya zorlamaktadır. Ancak bütün işlerin robotlar tarafından yerine getirilemediği gerçeği göz önüne alındığında insan robot iş birliği önem kazanmaktadır. Sadece insan ve sadece robot montaj hatlarının dengelenmesi kısmen daha kolay bir problem olmasına karşın insan ve robot gibi birbirinden çok farklı dinamiklere sahip iki yapıyı aynı montaj hattında çalıştırmak çok daha karmaşık bir problemdir. Ancak mevcut literatürde insan-robot iş birliği ile montaj hatları detaylı olarak çalışılmamıştır. Bu çalışma ile literatüre insan-robot iş birliği ile montaj hatları konusunda katkı sağlamak amaçlanıp, çok amaçlı insan robot iş birliği ile MHD problemine yeni bir yaklaşım önerilmiştir. Önerilen yaklaşım örnek bir uygulama ile desteklenmiştir. Bu örnek uygulamada 4 robotun ve 4 insanın bulunduğu varsayılmıştır. Bu yaklaşımda hedef programlama ve ÇKKV yöntemleri entegre bir şekilde uygulanmıştır. İnsan-robot iş birliği ile MHD sonuçları 6 farklı kriter (çevrim süresi, istasyon sayısı, insan-robot operatör maliyeti, hat etkinliği, denge gecikmesi, düzgünlük indeksi) açısından değerlendirilmiştir ve kriter ağırlıkları çevrim süresi için 0,4202, istasyon sayısı için 0,2357, insan-robot operatör maliyeti için 0,1571, hat etkinliği için 0,0785, denge gecikmesi için 0,0673 ve düzgünlük indeksi için 0,0409 olarak belirlenmiştir. Kriter ağırlıklarının sonuçlarının sağlamlığını incelemek için duyarlılık analizi ile 15 farklı denemede alternatif çözümlerin sıralaması incelenmiş ve kriter ağırlıklarının sınırlı olarak duyarlı olduğu doğrulanmıştır. Toplamda 8 istasyon açılması gerektiği belirlenmiştir. Çevrim zamanının 218 sn.'ye eşit olduğu belirlenip, minimum insan-robot operatör maliyetinin 3178 PB, hat etkinliğinin %82,28, denge gecikmesinin %17,72 ve düzgünlük indeksinin %10,26 olduğu alternatif seçilmiştir. İleride yapılacak çalışmalarda insan robot iş birliğine dair diğer kısıtlar da göz önünde bulundurularak matematiksel model geliştirilebilir. Ayrıca daha büyük problemlerin çözümü için geliştirilen model için sezgisel çözüm yaklaşımları da geliştirilebilir.

Kaynaklar

- [1] J. Krüger, T. Lien ve A. Verl, "Cooperation of human and machines in assembly lines" CIRP annals, pp. 628-646, 2009.
- [2] J. Tan, F. Duan, Y. Zhang, R. Kato ve T. Arai, "Task modeling approach to enhance man-machine collaboration in cell production" %1 içinde International Conference on Robotics and Automation, 2009.
- [3] F. Wallhoff, J. Blume, A. Bannat, W. Rösel, C. Lenz ve A. Knoll, "A skill-based approach towards hybrid assembly" Advanced Engineering Informatics, pp. 329-339, 2010.
- [4] F. Chen, K. Sekiyama, J. Huang, B. Sun, H. Sasaki ve T. Fukuda, "An assembly strategy scheduling method for human and robot coordinated cell manufacturing" International Journal of Intelligent Computing and Cybernetics, 2011.
- [5] S. Takata ve T. Hirano, "Human and robot allocation method for hybrid assembly systems" CIRP annals, pp. 9-12, 2011.

- [6] P. Tsarouchi, A. Matthaiakis, S. Makris ve G. Chryssolouris, “On a human-robot collaboration in an assembly cell” *International Journal of Computer Intergrated Manufacturing*, pp. 580-589, 2017.
- [7] Z. Çil, Z. Li, S. Mete ve E. Özceylan, “Mathematical model and bee algorithms for mixed-model assembly line balancing problem with physical human-robot collaboration” *Applied Soft Computing*, p. 106394, 2020.
- [8] H. M. Alağaç, M. Pınarbaşı, M. Yüzükırmızı ve B. Toklu, “Karma modellenli tip-2 montaj hattı dengeleme problemi için bir kısıt programlama modeli” *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, pp. 340-348, 2016.
- [9] H. Altunay, H. Özmutlu ve S. Özmutlu, “Paralel görev atamalı montaj hattı dengeleme problemi için yeni bir matematiksel model önerisi” *Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, pp. 15-33, 2017.
- [10] Ş. Topaloğlu Yıldız, G. Yıldız ve E. Cin, “Bir Elektronik Firmasındaki İşçi Atamalı Montaj Hattı Dengeleme Problemine Matematiksel Programlama Ve Benzetim Modelleme Tabanlı Bir Çözüm Yaklaşımı” *Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, pp. 57-73, 2020.
- [11] S. Gemici, B. Geniş, İ. Koçyiğit, E. Otuzbir, M. Özer, S. Pekelli ve A. Öztıp, “Çok Taraflı ve Çok Modellenli Soğutucu Montaj Hattı Dengeleme” *Sistem Tasarımı Proje Özetleri*, p. 60, 2020.
- [12] J. Rubinovitz, “Design and balancing of robotic assembly lines” %1 içinde *In Proceedings of the Fourth World Conference on Robotics Research*, Pittsburgh, 1991.
- [13] H. Kim ve S. Park, “A Strong Cutting Plane Algorithm for the Robotic Assembly Line Balancing Problem” *International Journal of Production Research*, pp. 2311-2323, 1995.
- [14] D. S. Hong ve H. Cho, “Generation of robotic assembly sequences with consideration of line balancing using simulated annealing” *Robotica*, pp. 663-673, 1997.
- [15] G. Levithin, J. Rubinovitz ve B. Shnits, “A Genetic Algorithm for Robotic Assembly Line Balancing” *European Journal of Operational Research*, pp. 811-825, 2006.
- [16] J. Gao, L. Sun, L. Wang ve M. Gen, “An Efficient Approach for type 2 Robotic Assembly Line Balancing Problem” *Computers & Industrial Engineering*, pp. 1065-1080, 2009.
- [17] J. M. Nilakantan ve S. G. & Ponnambalam, “An efficient PSO for type 2 robotic assembly line balancing problem” %1 içinde *IEEE international conference on automation science and engineering*, 2012.
- [18] A. Yoosefelahi, M. Aminnayeri, H. Mosadegh ve H. Ardakani, “Type 2 robotic assembly line balancing problem: An evolution strategies algorithm for a multi-objective model” *Journal of Manufacturing Systems*, pp. 139-151, 2012.
- [19] S. Daoud, H. Chehade, F. Yalaoui ve L. Amodeo, “Solving a robotic assembly line balancing problem using efficient hybrid methods” *Journal of Heuristics*, pp. 235-259, 2014.
- [20] M. Aghajani, R. Ghodsi ve B. Javadi, “Balancing of robotic mixed- model two- sided assembly line with robot setup times” *The international journal of advanced Manufacturing Technology*, pp. 1005-1016, 2014.
- [21] J. Nilakantan, G. Q. Huang ve S. Ponnambalam, “An investigation on minimizing cycle time and total energy consumption in robotic in assembly line systems” *Journal of Cleaner Production*, pp. 311-325, 2015a.
- [22] J. Nilakantan, S. Ponnambalam, N. Jawahar ve G. Kanagaraj, “Bio-inspired search algorithms to solve robotic assembly line balancing problems” *Neural Computing and Applications*, pp. 1379-1393, 2015b.
- [23] J. Nilakantan Mukund ve S. G. Ponnambalam, “Robotic U-shaped assembly line balancing using particle swarm optimization” *Engineering Optimization*, pp. 231-251, 2016.
- [24] M. Rabbani, Z. Mousavi ve H. Farrokhi-Asl, “Multi-objective metaheuristics for solving a type 2 robotic mixed-model assembly line balancing problem.” *Journal of Industrial and Production Engineering*, pp. 472-484, 2016.
- [25] Z. Li, M. N. Janardhanan, Q. Tang ve P. Nielsen, “Mathematical model and metaheuristics for simultaneous balancing and sequencing of a robotic mixed-model assembly line” *Engineering Optimization*, cilt 50, no. 5, pp. 877-893, 2018.

- [26] C. Müller, M. Grunewald ve T. Spengler, “Redundant configuration of robotic assembly lines with stochastic failures” *International Journal of Production Research*, cilt 56, no. 10, pp. 3662-3682, 2018.
- [27] Z. Zhang, Q. Tang, Z. Li ve L. Zhang, “Modelling and optimisation of energy-efficient U-shaped robotic assembly line balancing problems” *International Journal of Production Research*, pp. 5520-5537, 2019.
- [28] J. Pereira, M. Ritt ve Ó. C. Vásquez, “A memetic algorithm for the cost-oriented robotic assembly line balancing problem” *Computers & Operations Research*, cilt 99, pp. 249-261, 2018.
- [29] J. Q. Li ve Y. Q. Han, “A hybrid multi-objective artificial bee colony algorithm for flexible task scheduling problems in cloud computing system” *Cluster Computing*, pp. 2483-2499, 2020.
- [30] B. ZHOU ve Q. Wu, “Decomposition-based bi-objective optimization for sustainable robotic assembly line balancing problems” *Journal of Manufacturing Systems*, cilt 55, pp. 30-43, 2020.
- [31] B. Zhang, L. Xu ve J. Zhang, “Balancing and sequencing problem of mixed- model U-shaped robotic assembly line: Mathematical model and dragonfly algorithm based approach” *Applied soft computing*, p. 106739, 2021.
- [32] A. Charnes ve W. Cooper, “Management models and industrial applications of linear programming” *Management Science*, pp. 38-91, 1957.
- [33] H. Gokcen ve E. Erel, “A goal programming approach to mixed-model assembly line balancing problem” *International Journal of Production Economics*, pp. 177-185, 1997.
- [34] H. Gökçen ve K. Ağpak, “A goal programming approach to simple U-line balancing problem” *European Journal of Operational Research*, pp. 577-585, 2006.
- [35] Z. Cil, S. Mete ve K. Ağpak, “A goal programming approach for robotic assembly line balancing problem” *IFAC-PapersOnLine*, pp. 938-942, 2016.
- [36] M. Rauf, Z. Guan, S. Sarfraz, J. Mumtaz, E. Shebab, M. Jahanzaib ve M. Hanif, “A smart algorithm for multi-criteria optimization of model sequencing problem in assembly lines” *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, p. 101844, 2020.
- [37] F. Jolai, M. Rezaee ve A. Vazifeh, “Multi-criteria decision making for assembly line balancing” *Journal of Intelligent Manufacturing*, pp. 113-121, 2009.
- [38] U. Özcan ve B. Toklu, “Multiple-criteria decision-making in two-side assembly line balancing: A goal programming and a fuzzy goal programming models” *Computers & Operations Research*, pp. 1955-1965, 2009.
- [39] N. Hamta, S. Ghomi, F. Jolai ve U. Bahalke, “Bi-criteria assembly line balancing by considering flexible operation times” *Applied Mathematical Modelling*, pp. 5592-5608, 2011.
- [40] A. Guitouni ve J. Martel, “Tentative guidelines to help choosing an appropriate MCDA method” *European journal of operational reserch*, p. 501521, 1998.
- [41] J. Figuera, S. Greco ve M. Ehrgott, “Multiple criteria decision analysis: State of the art surveys” New York: Springer Science&Business Media, 2005.
- [42] Y. Siskos, E. Grigoroudis, N. Matsatsinis, J. Figueira, S. Greco ve M. Ehrgott, “Multiple criteria decision analysis: State of the art surveys” Figueira, J., Greco, S., Ehrgott M., pp. 297-344, 2005.
- [43] T. Saaty, “The modern science of multi criteria decision making and its practical applications: The AHP/ANP approach.” *Operation Research*, pp. 1101-1118, 2013.
- [44] W. Ho, X. Xu ve P. Dey, “Multi-criteria decision making approaches for supplier evaluation and selection: A literature review” *European Journal of Operational Research*, cilt 202, no. 1, pp. 16-24, 2010.
- [45] B. Malakooti, “Assembly line balancing with buffers by multiple criteria optimization” *The internaonal journal of production research*, pp. 2159-2178, 1994.
- [46] M. Kabir ve M. Tabucanon, “Batch-model assembly line balancing: A multiattribute decision making approach” *International Journal of Production Economics*, pp. 193-201, 1995.
- [47] Z. Çil, S. Mete, E. Özceyla ve K. Ağpak, “A beam search approach for solving type-2 robotic assembly line balancing problem” *Applied Sowft Computing*, pp. 129-138, 2017.
- [48] J. Rezaei, “Best-worst multi-criteria decision-making method.” *Omega*, pp. 49-57, 2015.
- [49] J. Rezaei, “Best-worst multi-criteria decision-making method: Some properties and a linear model” *Omega*, pp. 126-130, 2016.

- [50] D. Pamučar ve G. Ćirovič, “The selection of transport and handling resources in logistic centers using Multi-Attributive Border Approximation area Comparison (MABAC)” *Expert systems with applications*, pp. 3016-3028, 2015.
- [51] E. Triantaphyllou, “A sensitivity analysis approach for MCDM methods” *Multi-criteria Decision Making Methods: A Comparative Study*, pp. 131-175, 2000.

LEVY UÇUŞLU MEYVE SİNEĞİ ALGORİTMASI İLE GÖRÜNTÜ SIKIŞTIRMA

İlker KILIÇ*

Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Denizli, 20160, Türkiye
Geliş Tarihi/Received Date: 07.08.2021 Kabul Tarihi/Accepted Date: 09.01.2022 DOI: 10.54365/adyumbd.980173

ÖZET

Sayısal görüntülerin sıkıştırılıp arşivlenmesi günümüz teknolojisinde çok önemli bir ihtiyaç haline gelmiştir. Son yıllarda doğadan esinlenerek geliştirilen PSO(Parçacık sürü optimizasyonu), MSO(Meyve sineği optimizasyonu), ABO(Ateşböceği optimizasyonu), GA(Genetik Algoritma) gibi sezgisel metodlar da vektör tabanlı görüntü sıkıştırma için kullanılmaya başlamıştır. Bu çalışmada MSO, meyve sineklerinin sorunsuz bir şekilde global optimum noktaya ulaşabilmesi için Levy Uçuşu tekniği ile birleştirilmiştir. MSO algoritmasının en büyük sorunlarından biri de lokal minimum noktaya takılıp global minimuma ulaşamamasıdır. Çoğu zaman küçük nadiren de büyük yarıçap değeri veren Levy Fonksiyonu yardımı ile meyve sineği lokal minimum noktaya hiç takılmayıp global minimum noktayı garantilemektedir. Bu yeni geliştirilen LMSO(Levy uçuşlu meyve sineği optimizasyonu) tekniği standart görüntüler üzerinde test edilmiş ve aynı sıkıştırma oranlarında MSE, PSNR ölçütleri kullanıldığında diğer sezgisel algoritmalarından üstün olduğu gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Levy Uçuşu, Görüntü Sıkıştırma, Meyve Sineği Optimizasyonu, Vektör Nicemleme

IMAGE COMPRESSION BY LEVY FLIGHT FRUIT FLY ALGORITHM

ABSTRACT

It has become an important requirement to compress and archive digital images in nowadays technology. The bioinspired algorithms such as Particle Swarm Optimization (PSO), Fruit Fly Optimization (FFO), Firefly Optimization(FO), Bat Optimization(BO) algorithms have started to be used for vector-based image compression. In this paper, the Fruitfly algorithm is combined with the Lévy flight distribution in order to reach the global optimum point without encountering any problem. One of the FFO problems is to be captured the fruit flies by a local minimum and cannot reach the global optimum point. With the help of Levy function, which results in small values rarely and big values generally, the fruit flies guarantee the global minimum point without getting captured by any local minimum. This new proposed Levy Flight Fruit Fly Optimization (LFFO) technique is applied on the standard images and it is seen that at the same and compression rates, the proposed new LFFO technique is better than the other metaheuristic optimization methods

Keywords: Levy Flight, Image Compression, Fruit Fly Optimization, Vector Quantization

1. Giriş

Vektör Nicemleme(VN), blok tabanlı kayıplı başarılı bir görüntü sıkıştırma metodu olup vektör listesi üretim algoritması (LBG) ile birleştirilmiştir [1]. LBG, bölgesel minimum hata bulma prensibine göre resmi temsil eden en iyi vektör listesini oluşturur[2]. Bu metod Lin tarafından daha gürbüz ve hızlı

* e-posta: ilkerk@pau.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3978-4829> (Sorumlu Yazar),

hale getirilmiştir[3]. Toplam hatayı artıran kötü vektörlerin tespit edilip iyileştirilmesi [4] ve hesaplama süresinin azaltılması [5] ile LBG tekniği son şekline ulaştırılmıştır [6]. Bulanık K-Ortalamlar (BKO) [7-9] ve K-ortalamlar (KO) [10] metodları da görüntü sıkıştırma için kullanılan resmi temsil edebilen vektör listesi üretebilen tekniklerdendir.

Literatürde resmi temsil eden en iyi vektör listesi oluşturmak ve sıkıştırma yapmak için ilk olarak Genetik Algoritma (GA) [11-14] ve Genetik Benzetimli Tavlama[15] metodları kullanılmıştır. Bu makalelerde rasgele üretilip çaprazlama ve mutasyon işlemleri ile oluşturulan vektör listelerinden rastgele üretilip çaprazlama ve mutasyon işlemleri ile oluşturulan vektör listelerinden en iyisi saklanarak global sonuca ulaşılmıştır. Diğer bir çalışma da Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) ile ve Bulanık Mantığı birleştiren (bir) algoritma olup vektör listesindeki resim bloklarının orijinal resimdeki bloklara benzerliği bulanık karar verme mekanizması ile artırılmıştır[16]. Orijinal resimde vektör listesini oluşturmak için kullanılan bir diğer metod ise Bal Arısı Çiftleşmesi (BAÇ) metodudur [17]. Buradaki hedef, oluşturulan vektör listesinin güvenilirliğini ve kalitesini artırmaktır. Bir diğer metod ise Ateşböceği optimizasyonu(ABO) metodu olup yüksek sıkıştırılarda vektör listesinin hata fonksiyonu minimize edilmiştir[18-19]. Sayısal görüntü için oluşturulan vektör listesi Karınca Kolonisi Optimizasyonu (KKO) metodu ile diğer algoritmalara göre çok daha kısa sürede elde edilmiştir [20]. Parametre sayısı ve uygulama kolaylığı nedeniyle MSO metodu da analitik çözümü olmayan mühendislik problemlere başarılı yaklaşık çözümler üretebilmiştir [21-32], [37-40]. En son çıkan tekniklerden biri olan Yarasa Optimizasyonu (YO) birçok tekniğin birleştirilmesi ile literatürde yerini almıştır [33]. Başka bir Algoritma olan Guguk kuşu algoritması VN tekniğine başarılı bir şekilde entegre edilmiştir [36].

2. Vektör Listesi Üretimi

Bu bölümde önerilen yeni sezgisel algoritmanın alt parçalarından olan LBG algoritması ve Levy uçuşu metotları anlatılacaktır.

2.1 Vektör Nicemleme (VN) ve LBG algoritması

VN vektör tabanlı kayıplı bir görüntü sıkıştırma tekniğidir. LBG algoritması VN tekniğinin en önemli parçasıdır. Orijinal görüntü $N \times N$ pixel $Y = \{x_{ij}\}$ fonksiyonu ve $m \times m$ pixel boyutunda $N_b = \left(\frac{N}{m} \times \frac{N}{m}\right)$ alt bloklar ile temsil edilsin $X = \{x_i, i = 1, 2, \dots, N_b\}$. L blok büyüklüğü olan $m \times m$ değerini temsil etsin. \mathcal{R}^L , L boyutlu öklit uzayı olmak üzere resmi oluşturan alt bloklar $x_i \in \mathcal{R}^L$ şeklinde tanımlanabilir. N_c , üretilen vektör listesi içerisindeki vektörleri temsil etsin; $C = \{C_1, C_2, \dots, C_{N_c}\}$, $C_j \in \mathcal{R}^L$, $j=1, 2, \dots, N_c$. Orijinal görüntü vektörleri satır vektörleri olarak $x_i = (x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, \dots, x_{iL})$ şeklinde tanımlanıp vektör listesi içerisindeki i. vektör $c_i = (c_{i1}, c_{i2}, c_{i3}, \dots, c_{iL})$ olarak ifade edilsin.

VN, resim içerisindeki bir $m \times m$ alt bloğu vektör listesindeki en uygun vektöre eşleştirme yapma prensibine dayanır. Böylece resim içindeki orijinal bloğun kendisini göndermek yerine LBG ile oluşturulan vektör listesindeki en az hata veren blok numarası gönderilir. Böylece kayıplı bir sıkıştırma yapılmış olur. Vektör listesini oluşturan C kümesi aşağıdaki Ortalama Karesel Hata (OKH) ifadesi (1) minimize edilerek bulunur.

$$OKH(C) = \frac{1}{N_b} \sum_{j=1}^{N_c} \sum_{i=1}^{N_b} \mu_{ij} \|x_i - c_j\|^2 \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^{N_c} \mu_{ij} = 1, \quad i \in \{1, 2, \dots, N_b\} \quad (2)$$

$$\mu_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{eğer } x_i, j. \text{ küme içerisinde ise} \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (3)$$

$\|x_i - c_j\|$ ifadesi vektör listesindeki c_j vektörü ile x_i görüntü bloğu arasındaki öklit uzaklığını ifade etmektedir. Local optimum vektör listesi oluşturmak için aşağıdaki iki kural uygulanır.

a) Vektör kümesi $R_j, j=1,2,\dots,N_c$ aşağıdaki koşulu sağlamalıdır

$$R_j \supset \{x \in X: d(x, c_j) < d(x, c_k), \forall k \neq j\} \quad (4)$$

b) R_j vektör kümesinin c_j merkezi aşağıdaki formül ile hesaplanır

$$c_j = \frac{1}{N_j} \sum_{i=1}^{N_j} x_i, x_i \in R_j \quad (5)$$

Burada N_j, R_j vektör kümesine ait toplam vektör sayısını ifade etmektedir. Görüntüye ait vektörleri $x_i, i = 1, 2, \dots, N_b$, öklit mesafesini d ve başlangıç anlık vektör listesi $c_j(0), j = 1, 2, \dots, N_c$ olarak kabul edilip aşağıdaki ardaşık işlemler uygulandığında lokal optimum vektör listesi oluşturulmuş olur:

a) Orijinal görüntü blokları üzerinde öklit uzaklığı kullanılarak istenilen sayıda Voronoi bölgesine ayrılır. Kümeleme sonucu, $N_b \times N_c$ boyutuna sahip U gösterge matrisinde saklanır.

$$\mu_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } d(x_i, c_j(k)) = \min d(x_i, c_j(k)) \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{cases} \quad (6)$$

b) Herbir Voronoi küme merkezi belirlenir. Eski merkezler aşağıdaki formül kullanılarak yenileri ile değiştirilir.

$$c_j(k+1) = \frac{\sum_{i=1}^{N_b} \mu_{ij} x_i}{\sum_{i=1}^{N_b} \mu_{ij}}, \quad j = 1, 2, \dots, N_c \quad (7)$$

c) Voronoi küme merkezleri c_j değişmeyene kadar a ve b adımları tekrarlanır.

2.2 Levy Dağılım Fonksiyonu

Levy dağılım fonksiyonu, standart Gauss dağılımında standart sapmayı x in bir fonksiyonu şeklinde yazarak elde edilir.[34-35]. Gauss dağılım fonksiyonu (8) eşitliğinde verilmiştir.

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (8)$$

Bu fonksiyonda $\mu=0$ ve standart sapmayı σ, x değişkeninin bir fonksiyonu yapalım.

$$\sigma = \sqrt{\frac{x^3}{c}} \quad (9)$$

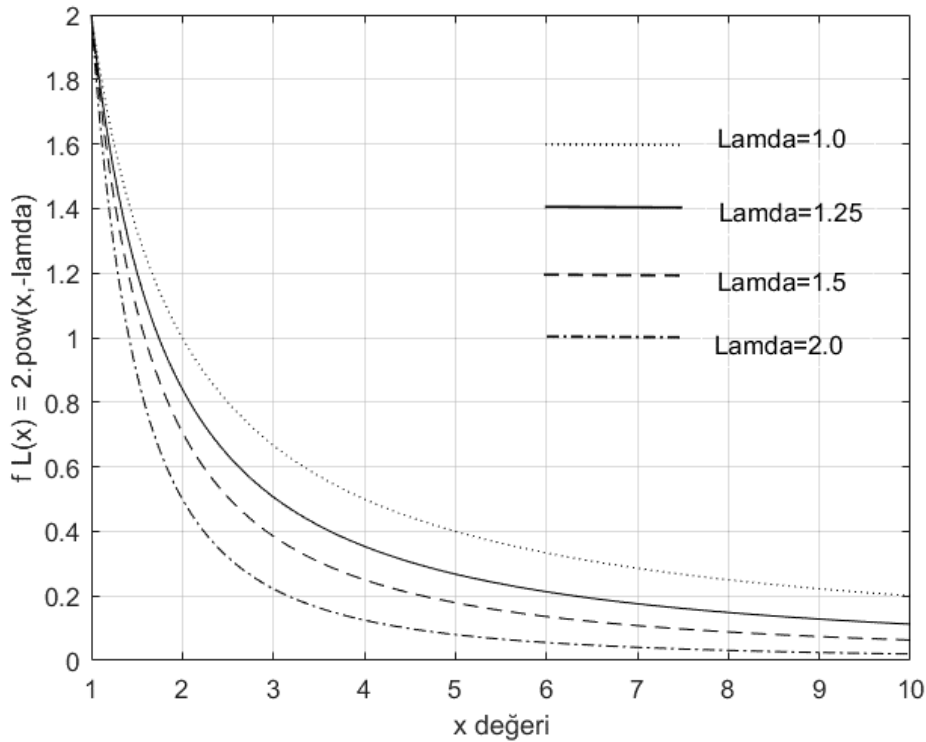
Gauss dağılım fonksiyonunda ortalama değeri $\mu=0$ alıp standart sapmayı (9) nolu eşitlik ile x 'in bir fonksiyonuna dönüştürürsek, $f(x)$ fonksiyonu (10) nolu eşitlik ile Levy dağılım fonksiyonuna dönüştürülmüş olur.

$$f_L(x) = \sqrt{\frac{c}{2\pi}} \left(\frac{e^{-\frac{c}{2x}}}{x^{\frac{3}{2}}} \right) \quad (10)$$

Levy fonksiyonunda x değerini artırdıkça exponensiyel kısım 1 değerine yaklaşacak ve Levy fonksiyonu yaklaşık olarak (11) eşitliğindeki ifadeye dönüşecektir.

$$f_L(x) \cong k \cdot x^{-\lambda} \quad (11)$$

Bu $f_L(x)$, yaklaşık Levy dağılımı Şekil 1. de görüldüğü gibi x 'in küçük değerlerinde büyük, x 'in büyük değerlerinde ise sıfıra yakın bir değer üretecektir. Lamda(λ) nın $\lambda_1= 1.0$, $\lambda_2= 1.25$, $\lambda_3= 1.5$, $\lambda_4= 2.0$ değerleri için Levy fonksiyonu Şekil 1. de verilmiştir.



Şekil 1. Değişik lamda(λ) değerleri için Levy dağılım fonksiyonu $f_L(x)$

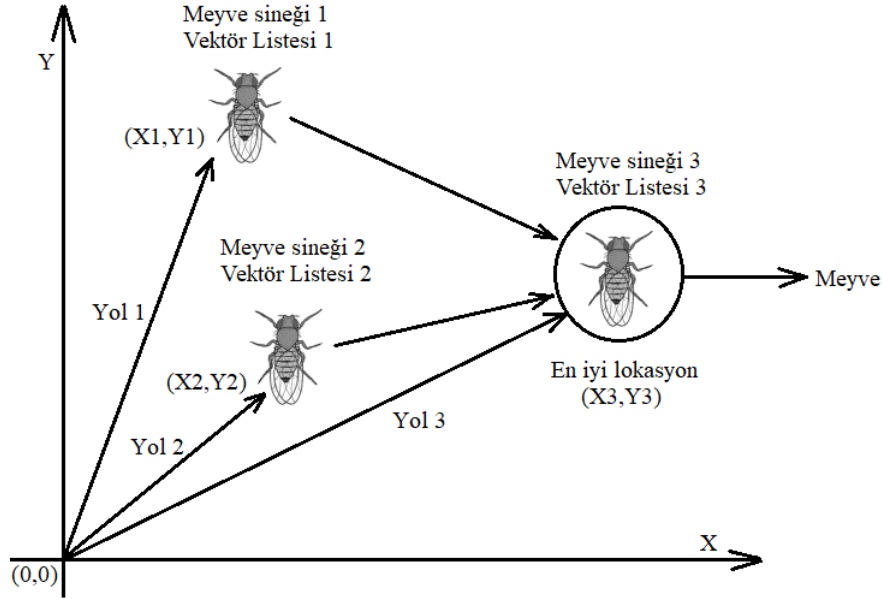
3. Levy Uçuşlu Meyve Sineği Algoritması

3.1 Klasik Meyve Sineği Optimizasyon Algoritması

MSO algoritması doğada Drosophila ismi ile bilinen meyve sineğinin nektar bulabilmek için izlediği stratejiyi taklit eder [21]. Bir meyve sineği nektara ulaşmak için iki yol izler. Birincisi koku takibi yaparak yön tayin eder. İkinci olarak keskin görüşünü kullanarak daha iyi bir yiyecek kaynağı için diğer sinekleri izler. Meyve sineğinin beslenmesini üç adımda özetleyebiliriz;

- i) Başlangıç sinek popülasyonunu üretme
- ii) Koku duyu organı ile araştırma fazı
- iii) Görüş duyu organını kullanarak araştırma fazı.

Şekil 2 de sineklerin koku sensörü ile araştırması ve ardından görme duyusu ile en iyi meyveyi bulan sineğin lokasyonunda toplanmaları temsil edilmiştir.



Şekil 2. Meyve sineği beslenmesi

MSO tekniğinin adımları aşağıda sıralanmıştır.

Adım 1. Maksimum iterasyon sayısı, meyve sineği sayısı, araştırma yarıçapı belirlenir.

Adım 2. Araştırma bölgesindeki meyve sineklerinin lokasyonları rasgele olarak belirlenir.

Adım 3. Koku yoğunluğu araştırma fazı; önceden belirlenen araştırma bölgesinde meyve sinekleri rasgele hareket ettirilip meyve nektarı araştırması yapılır.

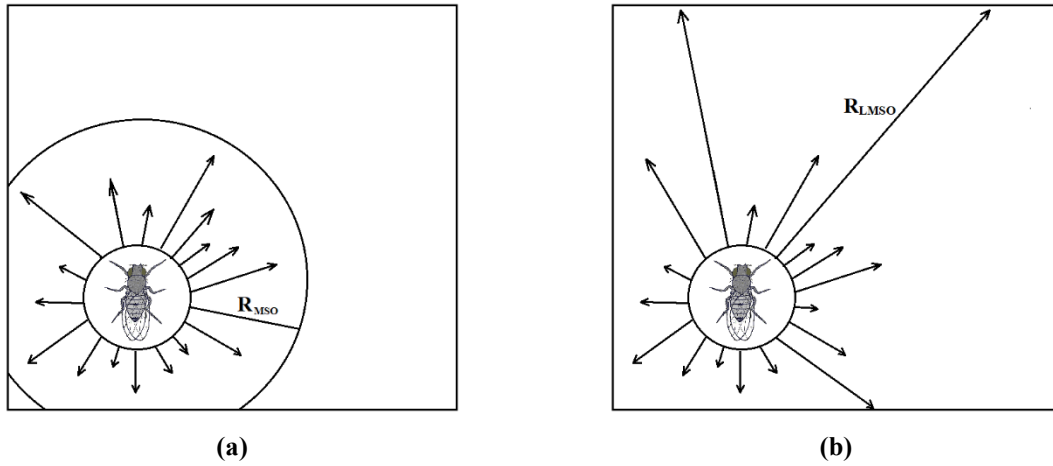
Adım 4. Meyve sineklerinin ulaştıkları nektar ile doğru orantılı olarak herbir sineğe ait koku konsantrasyonu belirlenir

Adım 5. Görüş araştırma fazı; En yüksek koku yoğunluğuna sahip meyve sineği tespit edilir. Bölge içerisindeki tüm sinekler, en yüksek koku yoğunluğuna sahip sineğin konumuna götürülür. Bu konum bir sonraki iterasyonda meyve sineklerinin ortak başlangıç noktası yapılır.

Adım 6. Maksimum iterasyon sayısına ulaşıldığında algoritma durdurulur, aksi durumda adım 3, 4, 5 ve 6 ardaşık olarak tekrar edilir.

3.2 Levy uçuşlu Meyve Sineği Optimizasyon Algoritması

Klasik MSO algoritmasında meyve sinekleri sabit bir yarıçap içerisinde rasgele hareket ederek ilerlerler. Bu durumda uzayın tamamını araştıramazlar. Çoğu kez yerel minimum noktalara takılırlar ve oradan kurtulamazlar. Bu makalede meyve sineklerinin uçuşu Levy fonksiyonu olarak belirlenmiştir. Böylelikle sinekler çoğu kez kısa mesafe uçuşları yaparken nadir olarak arada uzun Levy uçuşları da yapar, böylelikle uzayın tamamına bu sayede ulaşıp yerel minimumlardan kurtulur, global en iyi noktaya ulaşırlar (Şekil 3)



Şekil 3. a) Standart MSO algoritmasında sineklerin yiyecek araştırması **b)** LMSO algoritmasında sineklerin yiyecek araştırması

Aşağıda standart MSO algoritmasındaki meyve sineğinin hareket yarıçapı ile Levy uçuşu yapan meyve sineğinin yarıçap formülleri sırası ile (5) ve (6) nolu denklemler ile ifade edilmiştir.

$$R_{MSO} = R \quad (5)$$

$$R_{LMSO} = R \cdot x^{-\lambda} \quad (6)$$

MSO algoritmasında meyve sinekleri seçilen R yarıçapı içerisinde rasgele hareket eder ve tanımlı uzayı tam olarak araştıramazlar, yerel minimuma takılıp global minimum çözüme ulaşamazlar. Oysa LMSO algoritmasında çoğunlukla kısa uçuşlar yapan meyve sinekleri nadir olarak uzun uçuşlar yaparak tanımlı uzayın değişik bölgelerine geçiş yapar ve tüm uzayı gezebilirler, buna bağlı olarak farklı daha iyi çözümlere ulaşabilirler. Böylelikle önerilen LMSO algoritmasında meyve sinekleri yerel minimum noktalara takılmadan global minimum çözüme ulaşabilirler.

3.3 Parametreler

Bu çalışmada görüntü sıkıştırma yaygın olarak kullanılan için LBG algoritması MSO tekniği ile birleştirilmiştir. Algoritma içerisindeki her bir meyve sineği bir çözüm kümesi olan vektör listesini temsil etmektedir $C = \{C_1, C_2, \dots, C_{N_c}\}$, $C_j \in \mathcal{R}^L$, $j=1, 2, \dots, N_c$. Simülasyonlarda 0.122 bpp sıkıştırma oranı ve 8 vektöre sahip vektör listesi seçilmiş, önerilen LMSO tekniği literatürdeki 256x256 piksel büyüklüğünde 256 gri seviyeye sahip standart resimler üzerinde uygulanmıştır. Resim 4x4 piksel boyutuna sahip 4096 adet alt vektöre bölünmüştür. Dolayısıyla LBG tekniğinde resmi temsil eden vektörler de 4x4 piksel boyutundadır. Maksimum iterasyon sayısı 1500 ve R yarıçapı 2 piksel olarak belirlenmiştir. Levy dağılımındaki $\lambda=1.5$ seçilmiştir. Levy fonksiyonu maksimum yarıçap $R=2$ değerinden hızla $R=0$ değerine indiğinden (6) nolu denklemdeki x yatay eksen $x \in [1, 9]$ olarak sınırlandırılmıştır. Tüm parametreler LMSO tekniğinin performansını en iyi yapan değerler olarak belirlenmiştir. Standart resimlerde varyans ve ortalama değerler kullanılarak (7) nolu değişim katsayıları elde edilmiştir. Simülasyonda meyve sineklerinin araştırmada kullandıkları yarıçap fonksiyonları Çizelge 1. de verilmiştir.

$$\text{Değişim Katsayısı (DK)} = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - \text{ortalama})^2}}{\text{ortalama}} \quad (7)$$

Çizelge 1. Meyve sineklerinin simülasyonda kullandıkları yarıçap fonksiyonları

| Yarıçap Çeşidi | Yarıçap Fonksiyonu | Parametreleri |
|----------------|--|-------------------------------|
| Sabit | $Y=R$ | $R=2$ |
| Merdiven | $Y=R \Rightarrow Y=0$ (Merdiven şeklinde azalma) | $R=2$ Merdiven sayısı=10 |
| Lineer Azalan | $Y = R - \frac{R \cdot (\text{iter. num.})}{N}$ | $R=2$ $N=1500$ |
| Levy | $Y=R \cdot x^{-p}$ | $R=2$ $p=1.5, x \in [1,9]$ |
| Üstel | $Y=R \cdot \exp[-a \cdot (\text{iter. num.})]$ | $R=2$ $a=0.002$ |

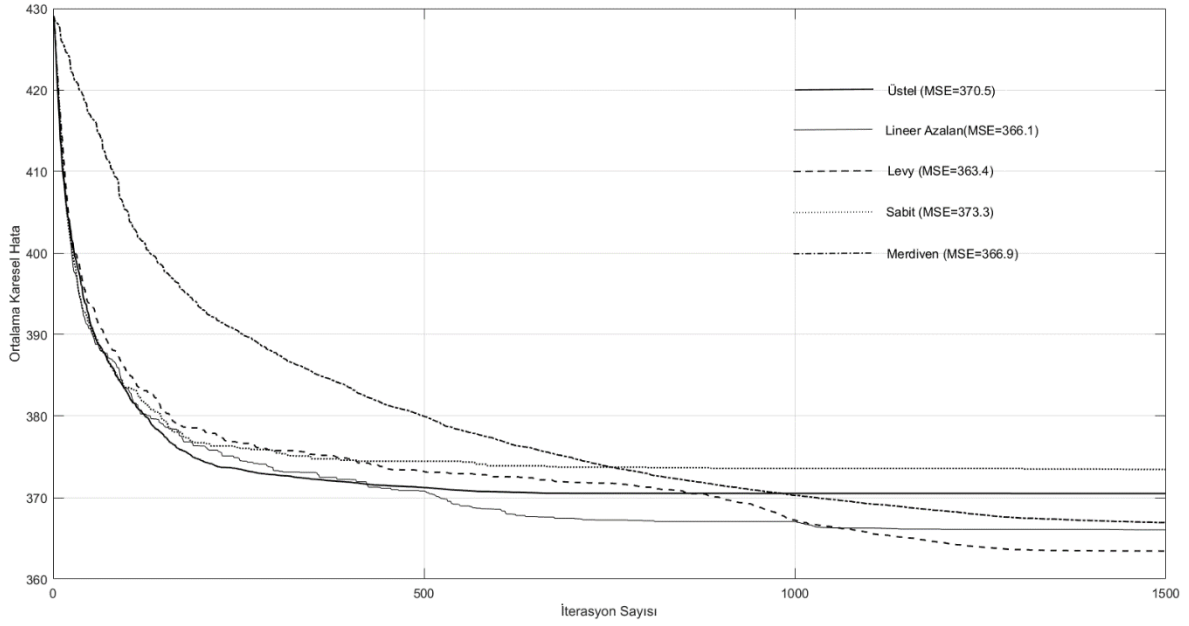
4. Simulasyon Sonuçları

Simülasyonlarda 256x256 piksel büyüklüğünde 256 gri seviyeye sahip Çizelge 2 deki standart görüntüler kullanılmıştır. Meyve sineği için sabit, lineer azalan, Levy, rastgele, sinüs ve merdiven azalan yarıçap çeşitleri kullanılmış olup Çizelge 1 de gösterilmiştir.

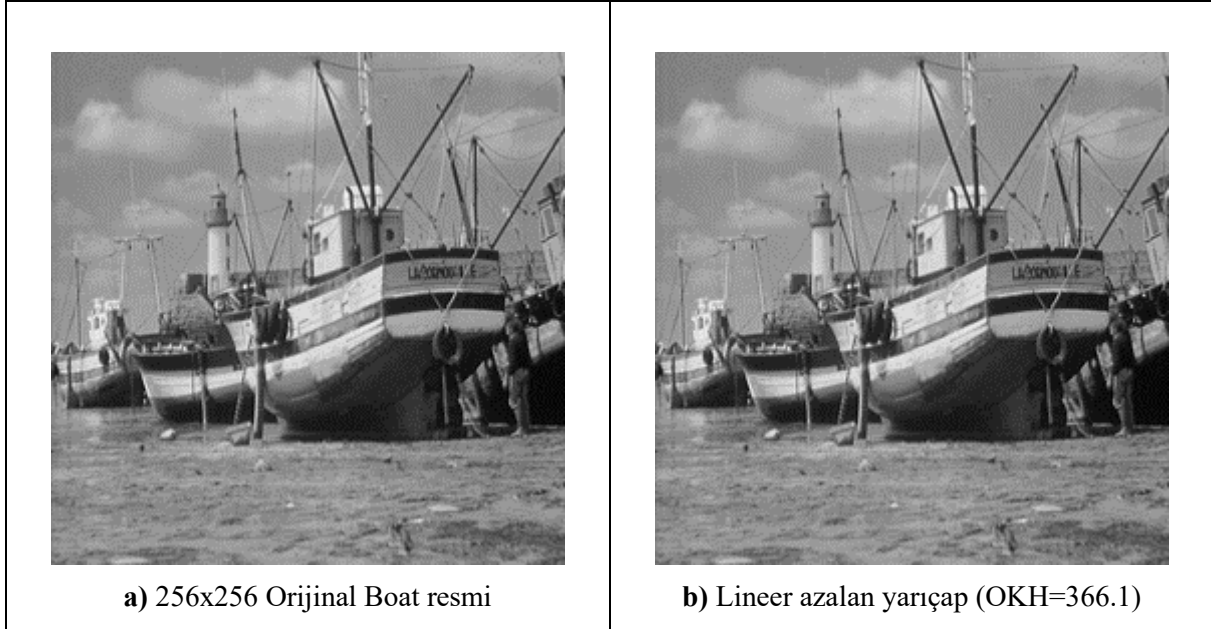
Çizelge 2. Sıkıştırma oranı=0.122 bpp için değişik yarıçap çeşitlerinde MSO algoritmasının OKH performansları

| Kodlama Oranı 0.122 bpp | DK | (MSO) Sabit Yarıçap | Linear Azalan Yarıçap | Merdiven Azalan Yarıçap | Levy Azalan Yarıçap | Üstel Azalan Yarıçap |
|----------------------------|-------|---------------------------|-----------------------------|-------------------------------|---------------------------|----------------------------|
| Peppers | 0.447 | 335.8 | 326.5 | 323.4 | 318.1 | 320.2 |
| Clock | 0.308 | 306.3 | 299.9 | 298.7 | 293.4 | 295.1 |
| Airplane | 0.170 | 126.9 | 124.0 | 122.2 | 118.2 | 120.3 |
| Boat | 0.357 | 373.3 | 366.1 | 366.9 | 363.4 | 370.5 |
| Chemical Plant | 0.405 | 359.1 | 357.5 | 356.3 | 353.5 | 355.9 |
| Cameraman | 0.530 | 411.3 | 407.1 | 409.5 | 402.9 | 405.4 |
| Barbara | 0.454 | 348.7 | 343.4 | 340.2 | 335.0 | 338.4 |
| Einstein | 0.344 | 269.3 | 235.9 | 238.3 | 226.1 | 229.2 |
| Couple | 0.313 | 309.7 | 304.8 | 305.0 | 301.6 | 303.0 |
| Lena | 0.530 | 324.4 | 322.8 | 321.5 | 318.7 | 320.8 |
| Moon | 0.217 | 145.6 | 138.6 | 137.8 | 136.6 | 137.4 |
| Baboon | 0.300 | 432.3 | 423.2 | 422.6 | 415.3 | 418.7 |
| Aerial | 0.322 | 528.5 | 524.6 | 521.1 | 516.2 | 518.4 |

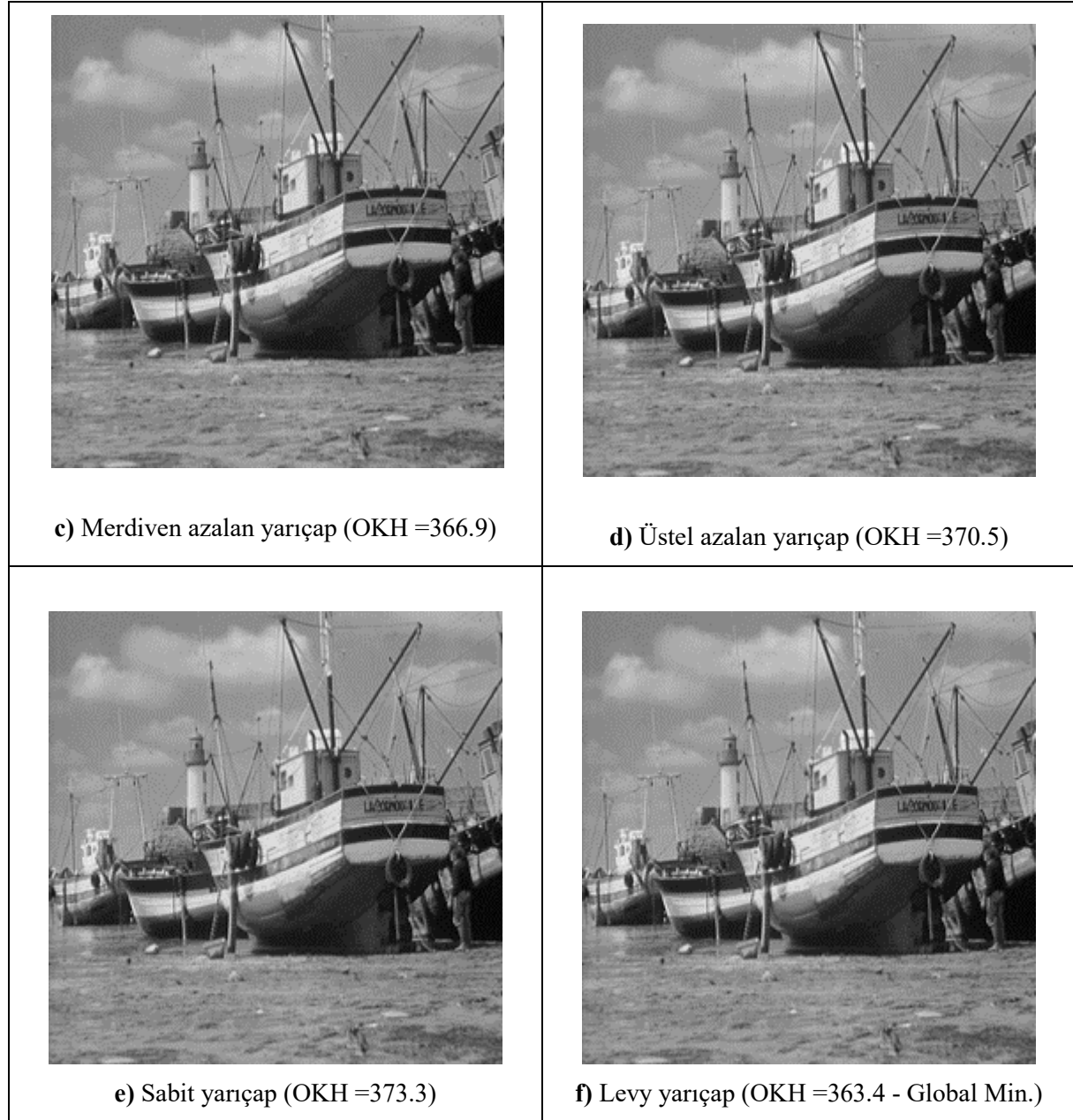
Şekil 4. te ise seçilen BOAT resmi için önerilen LMSO algoritmasının değişik yarıçap değerlerindeki sıkıştırılmış görüntü ve OKH değerleri görülmektedir.



Şekil 4. 256x256 pixel boyutunda BOAT resmi için, 0.122bpp sıkıştırma oranında MSO algoritmasının değişik yarıçap değerlerinde OKH performans karşılaştırması



Şekil 5. 256x256 pixel boyutunda BOAT resmi için, 0.122bpp sıkıştırma oranında MSO algoritmasının değişik yarıçap değerlerinde OKH performans karşılaştırması



Şekil 5. Devamı

Önerilen LMSO tekniği 0.122bpp sıkıştırma oranında, 256x256 pixel boyutlarındaki değişik DK değerlerine sahip standart resimler üzerinde uygulanmış, sonuçlar Çizelge 2 de gösterilmiştir. Levy yarıçap değeri ile hareket eden meyve sineklerinin global en küçük hata değerine sahip vektör listesine ulaşılmış olduğu ve diğer yarıçap fonksiyonlarına göre hareket eden meyve sineklerine göre daha iyi bir performans elde ettiği gözlenmiştir.

Çizelge 3 ile LMSO algoritması, değişik sıkıştırma oranlarında VN, PSO, ABO, YO ve değişik yarıçap fonksiyonlu MSO tekniği ile OKH performans kriterine göre karşılaştırılmış ve daha başarılı olduğu gözlenmiştir. 256x256 pixel boyutunda BOAT resmi için, 0.122bpp sıkıştırma oranında MSO algoritmasının değişik yarıçap değerlerinde OKH performans karşılaştırması Şekil 5 ile gösterilmiştir. MSO içerisinde lineer azalan yarıçap ile OKH=366.1, merdiven azalan yarıçap ile OKH=366.9, üstel

azalan yarıçap ile OKH=370.5, sabit yarıçap ile OKH=373.3 ve levy yarıçap ile global minimum hata OKH=363.4 değerine ulaşılmıştır.

Çizelge 3. Değişik sıkıştırma oranlarında orijinal BOAT resmi için algoritmaların OKH performans karşılaştırması

| Sıkıştırma Oranı | Vektör Sayısı | VN | PSO | ABO | YO | LMSO | MSO | MSO | MSO | MSO |
|------------------|---------------|--------|-------|-------|-------|-------|----------|-------|--------|----------|
| | | | | | | | Standart | Üstel | Lineer | Merdiven |
| 0.133 bpp | 4 | 492.5 | 489.2 | 488.9 | 489.8 | 485.9 | 490.0 | 489.2 | 488.7 | 488.8 |
| 0.203 bpp | 8 | 369.54 | 368.0 | 368.5 | 369.8 | 363.4 | 367.3 | 370.5 | 366.1 | 366.9 |
| 0.281 bpp | 16 | 287.8 | 285.0 | 285.7 | 284.5 | 280.0 | 284.4 | 284.5 | 282.2 | 283.0 |
| 0.375 bpp | 32 | 229.6 | 226.7 | 226.9 | 225.0 | 222.1 | 228.0 | 227.7 | 224.5 | 225.2 |
| 0.500 bpp | 64 | 183.6 | 180.2 | 181.0 | 179.1 | 176.5 | 182.7 | 180.0 | 179.9 | 180.2 |
| 0.688 bpp | 128 | 145.4 | 143.9 | 144.2 | 143.5 | 139.7 | 144.5 | 144.1 | 142.3 | 144.0 |

5. Sonuç

Önerilen yeni LMSO tekniğinde meyve sineklerinin sorunsuz bir şekilde global minimum noktaya ulaşabilmesi için MSO, Levy Uçuşu fonksiyonu ile birleştirilmiştir. MSO algoritmasının en büyük sorunlarından biri de lokal minimum noktaya takılıp global minimuma ulaşamamasıdır. Çoğu zaman küçük, nadiren de büyük yarıçap değeri veren Levy Fonksiyonu yardımı ile meyve sineği lokal minimum noktaya hiç takılmayıp global minimum noktaya ulaşmışlardır. Önerilen LMSO tekniği değişik yarıçap fonksiyonlarında VN, PSO, ABO ve YO metotları ile karşılaştırılmış ve aynı sıkıştırma oranlarında MSE ölçütü kullanıldığında diğer metotlardan üstün olduğu Çizelge 3 te gösterilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Gray, R. M. Vector quantization. IEEE ASSP Magazine. 1984;1: 4-29.
- [2] Linde, Y., Buzo, A., & Gray, R. M. An algorithm for vector quantizer design. IEEE Transaction on Communications. 1980; 28(1): 84–95.
- [3] Lin, Y.C & Tai, S.C. A Fast Linde–Buzo–Gray Algorithm in Image Vector Quantization. IEEE Transactions on Circuits and Systems-II: Analog and Digital Signal Processing. 1998; 45(3): 432-435.
- [4] Patane, G. & Russo, M.. The enhanced LBG algorithm. Neural Networks. 2001; 14; 1219-1237.
- [5] Xu, W., Nandi, A.K., et.al. Novel vector quantiser design using reinforced learning. Signal Processing. 2005; 85; 1315–1333.
- [6] Tsai, C.W., Lee, C.Y., et.al. A fast VQ codebook generation algorithm via pattern reduction. Pattern Recognition Letters. 2009; 30: 653–660.
- [7] Karayiannis, N. B., & Pai, P. I. Fuzzy vector quantization algorithms and their application in image compression. IEEE Transactions in Image Processing. 1995;. 4(9): 1193–1201.
- [8] Karayiannis, N. B., & Bezdek, J. C. An integrated approach to fuzzy learning vector quantization and fuzzy c-means clustering. IEEE Transactions on Fuzzy Systems. 1997; 5(4): 622–628.
- [9] Tsekouras, G.E. A fuzzy vector quantization approach to image compression. Applied Mathematics and Computation. 2005;167: 539–560.
- [10] Kuo, R.C., Wang, H. S. et.al. Application of ant K-Means on clustering analysis. Computers and

- Mathematics with Applications. 2005; 50: 1709-1724.
- [11] Goldberg DE. Genetic algorithms in search, optimization and machine learning. Addison-Wesley; 1989.
- [12] Sun H., Lam, K.Y., et.al. Efficient vector quantization using genetic algorithm. 2005; 14: 203-211.
- [13] L. Zhang, B. Zheng and Z. Yang. Codebook design using genetic algorithm and its application to speaker identification. Electronics Letters. 2005; 41(10): 619-620.
- [14] Yang S. B., Constrained-storage multistage vector quantization based on genetic algorithms. Pattern Recognition. 2008; 41: 689 – 700.
- [15] Huang, H.C., Pan, J.S., et.al. Vector quantization based on genetic simulated annealing. Signal Processing. 2001; 81: 1513-1523.
- [16] Feng H.M., Chen C.Y., Ye, F. Evolutionary fuzzy particle swarm optimization vector quantization learning scheme in image compression. Expert Systems with Applications. 2007; 32: 213–222.
- [17] Horng, M. H., Jiang, T.W. Image vector quantization algorithm via honey bee mating optimization. Expert Systems with Applications. 2011; 38: 1382–1392.
- [18] Rani, M. L. P., Rao, G. S., & Rao, B. P. An efficient codebook generation using firefly Algorithm for optimum medical image compression. Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, 2020;1-13.
- [19] Tsai, C.W., Tseng, S.P., et.al. PREACO: A fast ant colony optimization for codebook generation. Applied Soft Computing. 2013; 13: 3008–3020.
- [20] Dai, H., Zhao, G., Lu, J., & Dai, S. Comment and improvement on “A new fruit fly optimization algorithm: taking the financial distress model as an example”. Knowledge - Based Systems, 2014; 59: 159-160.
- [21] Li, H., Guo, S., Li, C., Sun, J., A hybrid annual power load forecasting model based on generalized regression neural network with fruit fly optimization algorithm. Knowledge Based Systems. 2013; 37: 378–387.
- [22] S.M. Lin, Analysis of service satisfaction in web auction logistics service using a combination of fruit fly optimization algorithm and general regression neural network, Neural Computational Applications. 2013; 7: 459–465.
- [23] Jiang, W., Wu, X., Gong, Y., Yu, W., & Zhong, X. Holt–Winters smoothing enhanced by fruit fly optimization algorithm to forecast monthly electricity consumption. Energy, 2020; 193: 116779.
- [24] Li, C., Xu, S., Li, W., L. Hu, L. A novel modified fruit fly optimization algorithm for designing the self-tuning proportional integral derivative controller. Journal of Convergence Information Technology. 2012; 7: 69–77.
- [25] Sheng, W., Bao, Y. Fruit fly optimization algorithm based fractional order fuzzy-PID controller for electronic throttle. Nonlinear Dynamics. 2013; 73: 611-619.
- [26] Chen, P.W, Lin, W.Y., Huang, T.H., Pan, W.T. Using fruit fly optimization algorithm optimized grey model neural network to perform satisfaction analysis for e-business service, Applied Mathematics and Information Sciences. 2013; 7(21): 459–465.
- [27] Meng, T., & Pan, Q. K. An improved fruit fly optimization algorithm for solving the multidimensional knapsack problem. Applied Soft Computing, 2017; 50: 79-93.
- [28] Yuan, X., Dai, X., Zhao, J., He, Q. On a novel multi-swarm fruit fly optimization algorithm and its application. Applied Mathematics and Computation. 2014; 233: 260–271.
- [29] Wang, L., Xiong, Y., Li, S., & Zeng, Y. R. New fruit fly optimization algorithm with joint search strategies for function optimization problems. Knowledge-Based Systems, 2019; 176: 77-96.
- [30] Sheng, W, Bao, Y., Fruit fly optimization algorithm based fractional order fuzzy – pid controller for electronic throttle, Nonlinear Dynam. 2013;73 (1–2) : 611–619.
- [31] Li, J. Q., Pan, Q. K., & Mao, K. A hybrid fruit fly optimization algorithm for the realistic hybrid flowshop rescheduling problem in steelmaking systems. IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, 2015; 13(2): 932-949.
- [32] Ingaleswar, S., Dharwadkar, N. V., & Jayadevappa, D. Water chaotic fruit fly optimization-based deep convolutional neural network for image watermarking using wavelet transform. Multimedia Tools and Applications, 2021; 1-25.

- [33] Kumar, S. N., Fred, A. L., Kumar, H. A., et.al. BAT Optimization - Based Vector Quantization Algorithm for Compression of CT Medical Images. In ICTMI 2017 (pp. 53 – 64). Springer Singapore. 2019
- [34] Metzler, R., Aleksei, V. C. et.al. Some fundamental aspects of Lévy Flights. *Chaos, Solitons and Fractals*. 2007; 34; 129–142.
- [35] Yang, X.-S. Firefly algorithm, Lévy flights and global optimization. *Research and Development in Intelligent Systems XXVI* (Eds M. Bramer, R. Ellis, M. Petridis), Springer. 2010; 209-218.
- [36] Chiranjeevi, K., Jena, U. R. Image compression based on vector quantization using cuckoo search optimization technique. *Ain Shams Engineering Journal*. 2018; 9(4): 1417-1431.
- [37] Fu, Y., Zhou M., Guo, X., Qi, L. Stochastic multi-objective integrated disassembly-reprocessing reassembly scheduling via fruit fly optimization algorithm. *Journal of Cleaner Production*. 2021; 278: 123364
- [38] Zhang X., Xu, Y., Caiyang Yu, C., et.al. Gaussian mutational chaotic fruit fly - built optimization and feature selection. *Expert Systems With Applications*. 2020; 141; 112976.
- [39] Wang, L., Xiong Y., Li, S., et. al. New fruit fly optimization algorithm with joint search strategies for function optimization problems. *Knowledge-Based Systems*, 2019; 176: 77–96.
- [40] Ding, G., Dong, F., Zou, H. Fruit fly optimization algorithm based on a hybrid adaptive cooperative learning and its application in multilevel image thresholding. *Applied Soft Computing Journal*, 84 (2019) 105704.

KESİR DERECELİ TEMEL TRANSFER FONKSİYON YAPILARI İÇİN YAKLAŞIK ANALİTİK ZAMAN CEVABI MODELİ

Ali YÜCE*

Tarsus Üniversitesi, Mersin Tarsus OSB Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, 33100, Mersin, Türkiye

Geliş Tarihi/Received Date: 17.09.2021 Kabul Tarihi/Accepted Date: 17.03.2022 DOI: 10.54365/adyumbd.996786

ÖZET

Bilgisayar teknolojilerindeki gelişmeler zor ve karmaşık hesaplamalar içeren kesirli matematik alanına olan ilgiyi arttırmıştır. Özellikle, gerçek sistemleri modellemedeki başarısı nedeniyle kontrol sistemleri alanında çokça yararlanılmaktadır. Pek çok çalışma yapılmasına rağmen karmaşık ve zor matematiği nedeniyle literatürde hala çözümsüz durumlar bulunmaktadır. Kontrol sistemleri alanında kullanımında karşılaşılan en büyük zorluk analitik çözüm eksikliğidir. Bu eksikliklerden biri kesir dereceli bir transfer fonksiyon için analitik zaman cevabı hesaplamasıdır. Bu nedenle, bu çalışmada bazı temel kesir dereceli transfer fonksiyon yapıları için yaklaşık analitik zaman cevabı fonksiyonları yani yaklaşık ters Laplace dönüşümlerini elde edebileceğimiz bir çözüm önerisi sunulmuştur. Bu temel çözümler, gelecekte büyük ve karmaşık kesir dereceli transfer fonksiyonların çözümünde temel taşı olacaktır. Çalışmada kesir dereceli transfer fonksiyonların hesaplamalarındaki başarısı sebebiyle Grunwald-Letnikov (GL) nümerik hesaplama metodu kullanılmıştır. Ayrıca, eğri uydurma hesaplamalarında ise en küçük kareler metodu kullanılmıştır. Sonuçlar örnek hesaplamalar ile desteklenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kesir dereceli transfer fonksiyon; Zaman cevapları, Ters Laplace dönüşümü; Grunwald-Letnikov; Eğri uydurma

APPROXIMATE ANALYTICAL TIME RESPONSE MODEL FOR BASIC TRANSFER FUNCTION STRUCTURES WITH FRACTIONAL ORDER

ABSTRACT

Advances in computer technologies have increased the interest in fractional mathematics, which includes difficult and complex calculations. In particular, it is widely used in the field of control systems due to its success in modeling real systems. Although many studies have been carried out, there are still unresolved situations in literature due to complex and difficult mathematics. The biggest difficulty encountered in its use in the field of control systems is the lack of analytical solutions. One of these shortcomings is the analytical time response calculation for a fractional transfer function. Therefore, In this study, a solution proposal is presented for some basic fractional transfer function structures, where we can obtain the approximate analytical time response functions, that is, the approximate inverse Laplace transforms. These fundamental solutions will be the cornerstone of solving large and complex fractional order transfer functions in future. Grunwald-Letnikov (GL) numerical calculation method was used in the study due to its success in the calculation of fractional transfer functions. In addition, the least squares method was used in curve fitting calculations. The results are supported by example calculations.

Keywords: Fractional order transfer function; Time responses, Inverse Laplace transform; Grunwald-Letnikov; Curve fitting

1. Giriş

İlk olarak Leibniz ve L'Hospital arasında 1695 yılında gerçekleşen bir mektuplaşmayla ismi duyulan kesirli matematik alanı [1], bir diferansiyel denklemde türev dereceleri tamsayı olmayan durumları inceler. Zor ve karmaşık bir matematiğinin olması geçmişte fazla ilgi duyulmamasına neden

* e-posta: aliyuce@tarsus.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4642-6272> (Sorumlu Yazar),

olmuştur. Ancak günümüzde bilgisayar teknolojilerindeki gelişmeler bu alana olan ilgiyi son zamanlarda arttırmıştır. Kesir dereceli sistemlere viskoelastik malzemeler, elektromanyetik işlemler, uzun transmisyon hatları, dielektrik polarizasyon, biyomühendislik problemleri ve kaos gibi pek çok uygulama alanında rastlamak mümkündür [2-8]. Endüstride kesirli matematiğin başlıca tercih edilme sebebi gerçek sistemleri modellemede klasik matematiğe göre daha başarılı olmasıdır [9, 10]. Bu yeteneği sayesinde kontrol mühendisliği alanında oldukça ilgi duyulan çalışma alanlarından biri olmuştur. Manabe, kesir dereceli kontrol alanının öncü araştırmacılarından biridir [11, 12].

Bir kesir dereceli transfer fonksiyon, tamsayı dereceli olmayan bir diferansiyel denklemin Laplace dönüşümü alınarak elde edilir. Kesir dereceli transfer fonksiyonlar üzerinde zaman cevabı analizleri, kararlılık analizleri, kök-yer eğrisi analizi, kontrolör tasarımları v.b. gibi pek çok kontrol sistemi hesaplamaları, tamsayı dereceli transfer fonksiyonlara göre oldukça zor, karmaşık ve hatta bazı durumlarda henüz imkansızdır. Bu tip transfer fonksiyonlarda analitik olarak sadece frekans cevabı analizleri yapılmaktadır [13]. Zaman cevabı analizleri için herhangi bir analitik çözüm yöntemi bulunmamaktadır. Kesir dereceli transfer fonksiyonlar üzerinde yapılan hesaplamalar için geliştirilmiş Oustaloup, Matsuda, Charef, Carlson, SBL, M-SBL gibi tamsayı dereceli yaklaşım yöntemleri [14-19] ve GL, IFTM, FSM, Mittag-Leffler gibi nümerik yöntemler [20-22] kullanılmaktadır. Ancak bunlar analitik bir fonksiyon vermemektedirler.

Son yıllarda, Yüce ve Tan [23-25] tarafından kesir dereceli transfer fonksiyonların yaklaşık analitik zaman cevabı hesaplamaları üzerine temel bazı çalışmalar sunulmuştur. Bunlar $1/s^\alpha$ ve $1/(s^\alpha + 1)$, $\alpha \in \{0.1, 0.2, 0.3, \dots, 0.9\}$ transfer fonksiyon yapılarının yaklaşık analitik zaman denklemlerini hesaplayan çalışmalardır. Bu çalışmada, yukarıda belirtilen çalışmaların devamı niteliğinde temel kesir dereceli transfer fonksiyon yapıları için daha standart, daha az terimli ve türevlenebilir bir analitik denklem modeli kullanılarak daha başarılı yaklaşık zaman cevabı ya da başka bir ifadeyle ters Laplace dönüşümü hesaplaması yapılmıştır.

Bu çalışma şu şekilde organize edilmiştir; Bölüm 2’de kesir dereceli transfer fonksiyonlar ve onların temel formları açıklanmıştır. Bölüm 3’de önerilen yöntemin metodolojisi ve uygulaması örnekler ile anlatılmıştır. Sonuçlar ise Bölüm 4’te verilmiştir.

2. Kesir Dereceli Transfer Fonksiyonlar

Kesir dereceli diferansiyel denklemler klasik diferansiyel denklemlerin genelleştirilmiş biçimleridir. Liouville-Riemann, Grünwald-Letnikov ve Caputo gibi birçok matematikçi kesir dereceli hesaplamalar konusunda katkılar sağlamışlardır. Bunlardan Caputo’nun sunduğu kesir dereceli diferansiyel denklem tanımı (1) gibi ifade edilir [1, 26, 27].

$$L\{D^\alpha y(t)\} = s^\alpha L\{y(t)\} - \sum_{i=0}^{[\alpha]-1} s^{\alpha-i-1} \frac{d^i y}{dt^i}(0) \quad (1)$$

Burada $D^\alpha y(t) = d^\alpha y(t) / dt^\alpha$, $y(t)$ ’nin Caputo türevini belirtir, $\alpha \in R_+$ rasyonel bir sayıdır. $[\alpha]$, α ’nın tam sayı kısmını belirtir ve L ise, Laplace dönüşümü operatörüdür.

Grünwald-Letnikov tarafından geliştirilen kesir dereceli türevin matematiksel tanımı ise (2)’de verilmiştir [1, 26, 28, 29].

$${}_a D_t^\alpha f(t) = \lim_{h \rightarrow 0} h^{-\alpha} \sum_{j=0}^{\frac{t-a}{h}} (-1)^j \binom{\alpha}{j} f(t-jh) \quad (2)$$

Denklem (2)'de h adım aralığını, $(-1)^j \binom{\alpha}{j}$ ise binomial açılımın katsayılarını ifade eder [28, 29]. Kesir dereceli transfer fonksiyonların birim basamak cevapları GL nümerik hesaplama metodu ile kesine yakın olarak çizdirilebilir [30]. Bu nedenle çalışmada zaman cevapları GL nümerik hesaplama metodu ile çizdirilmiştir ve kıyaslanmıştır.

Bir $r(t)$ girişli ve $y(t)$ çıkışlı kesir dereceli kontrol sistemi, (3)'te verilen kesir dereceli diferansiyel denklem formu ile tanımlanır.

$$\begin{aligned} a_n D^{\alpha_n} y(t) + a_{n-1} D^{\alpha_{n-1}} y(t) + \dots + a_0 D^{\alpha_0} y(t) &= b_m D^{\beta_m} r(t) \\ + b_{m-1} D^{\beta_{m-1}} r(t) + \dots + b_0 D^{\beta_0} r(t) \end{aligned} \quad (3)$$

Denklem (3)'ü transfer fonksiyon biçiminde (4) gibi elde ederiz.

$$\begin{aligned} G(s) &= \frac{b_m s^{\beta_m} + b_{m-1} s^{\beta_{m-1}} + \dots + b_0 s^{\beta_0}}{a_n s^{\alpha_n} + a_{n-1} s^{\alpha_{n-1}} + \dots + a_0 s^{\alpha_0}} \\ \{\alpha_i, \beta_j\} &\in R_+ \\ \{a_i, b_j\} &\in R \\ \alpha_0 < \alpha_1 < \dots < \alpha_n, \beta_0 < \beta_1 < \dots < \beta_m, \quad i = 0, 1, 2, \dots, n \text{ ve } j = 0, 1, 2, \dots, m \end{aligned} \quad (4)$$

Denklem (4) biçiminde ifade edilen transfer fonksiyonlar, kesir dereceli transfer fonksiyonlar (KDTF) olarak isimlendirilirler.

3. Metodoloji ve Örnekler

Bilindiği gibi bir sistemin modeli o sistemin diferansiyel denkleminin Laplace dönüşümü alınarak elde edilmektedir. Dolayısıyla sistemin zaman domenindeki davranışını izlemek için sistem modelinin ters Laplace dönüşümünü alırız. Böylece sistemin zaman domeninde davranışını tespit ederiz. Ancak kesir dereceli diferansiyel denklemden elde edilmiş bir kesir dereceli transfer fonksiyonunun analitik olarak ters Laplace dönüşümünün alınması şu an için mümkün değildir. Bu çalışmada (7-9)'da verilen kesir dereceli temel transfer fonksiyonların yaklaşık zaman cevabı fonksiyonlarının bilinmesi gelecekte karmaşık yapıları kesir dereceli transfer fonksiyonların yaklaşık ters Laplace dönüşümleri veya başka bir ifadeyle zaman fonksiyonlarının hesaplamasına kolaylık sağlayacaktır.

Kesir dereceli bir transfer fonksiyon uygun koşullarda (5-6)'da ifade edildiği gibi temel transfer fonksiyonlara ayrıştırılabilir.

$$G(s) = \frac{d_0}{c_0 s^{\alpha_0}} + \frac{d_1}{c_1 s^{\alpha_1} + c_2} + \frac{c_3 + id_2}{s^{\alpha_2} + p + iq} + \frac{c_3 - id_2}{s^{\alpha_2} + p - iq} \quad (5)$$

$$\{c_0, c_1, c_2, d_0, d_1, d_2, p, q\} \in R, \quad \{\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2\} \in R_+$$

$$G(s) = G_{m1}(s) + G_{m2}(s) + G_{m3}(s) \quad (6)$$

$$G_{m1}(s) = \frac{d_0}{c_0 s^{\alpha_0}} \quad (7)$$

$$G_{m2}(s) = \frac{d_1}{c_1 s^{\alpha_1} + c_2} \quad (8)$$

$$G_{m3}(s) = \frac{c_3 + id_2}{s^{\alpha_2} + p + iq} + \frac{c_3 - id_2}{s^{\alpha_2} + p - iq} = \frac{2c_3 s^{\alpha_2} + 2c_3 p + 2d_2 q}{s^{2\alpha_2} + 2ps^{\alpha_2} + p^2 + q^2} \quad (9)$$

Denklem (7)'de verilen kesir dereceli transfer fonksiyon formu için analitik kesin çözüm zaten mevcuttur [31]. Bu nedenle bu çalışmada (8) ve (9) ele alınmıştır. Denklem (7-9)'da belirtilen transfer fonksiyonlar, pek çok sistemin kesir dereceli temel transfer fonksiyon formlarını oluşturabilirler. Denklem (10)'da verilen kesir dereceli transfer fonksiyon (5)'te verilen temel transfer fonksiyonlara ayrıştırılmaya örnek olarak verilebilir. Kesir dereceli bir transfer fonksiyonun (5)'te ifade edilen temel transfer fonksiyon yapılarına ayrıştırılması çalışmaları ayrıca devam etmektedir.

$$G(s) = \frac{1}{1.1376s^{1.8} + 0.0946s^{1.5} + 1.006s^{0.6} + 2.3909s^{0.3}} \quad (10)$$

Burada, $\lambda = s^{0.3}$ değişken değiştirmesi yapıldığında $\lambda^2 = s^{0.6}$, $\lambda^3 = s^{0.9}$, $\lambda^4 = s^{1.2}$, $\lambda^5 = s^{1.5}$ ve $\lambda^6 = s^{1.8}$ olarak ifade edilir. Böylece $G(\lambda)$, (11)'deki gibi yazılır.

$$G(\lambda) = \frac{1}{1.1376\lambda^6 + 0.0946\lambda^5 + 1.006\lambda^2 + 2.3909\lambda} \quad (11)$$

Denklem (11), basit kesirlere ayrıştırılarak (12) biçiminde yazılır. Bu denklemde karmaşık kökler ortadan kaldırılıp s dönüşümü yapıldığı zaman (13) denklemi elde edilir. Görüldüğü gibi denklem (13), bu çalışmada tanımladığımız kesir dereceli temel transfer fonksiyonları barındıran yapıya dönüştürülmüştür. Bu temel tranfer fonksiyonların ters Laplace dönüşümlerinin elde edilmesi için önerilen metot aşağıda anlatılmaktadır.

$$G(\lambda) = \frac{-0.0614 + 0.0127i}{\lambda - 0.9588 - 0.7789i} + \frac{-0.0614 - 0.0127i}{\lambda - 0.9588 + 0.7789i} + \frac{-0.0840 + 0.0365i}{\lambda + 0.4755 - 1.0421i} + \frac{-0.0840 - 0.0365i}{\lambda + 0.4755 + 1.0421i} + \frac{-0.1275}{\lambda + 1.0497} + \frac{0.4183}{\lambda} \quad (12)$$

$$G(s) = \frac{-0.1228s^{0.3} + 0.09796}{s^{0.6} - 1.918s^{0.3} + 1.526} - \frac{0.168s^{0.3} + 0.156}{s^{0.6} + 0.951s^{0.3} + 1.312} - \frac{0.1275}{s^{0.3} + 1.0497} + \frac{0.4183}{s^{0.3}} \quad (13)$$

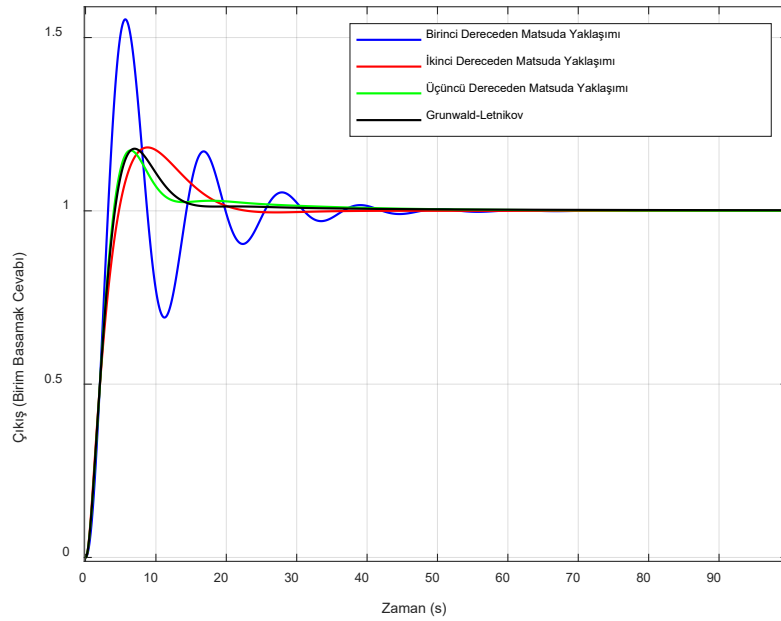
Kesir dereceli transfer fonksiyonlar üzerinde frekans cevabı analizleri dışında doğrudan analitik hesaplama yapılamadığı bilinmektedir [16]. Ancak zaman cevabı analizleri, kök-yer eğrisi analizleri, durum-uzay matris hesaplamaları v.b. pek çok işlem doğrudan gerçekleştirilememektedir. Bu nedenle zaman cevabı analizi ve diğer kontrol sistemleri hesaplarının yapılabilmesi için tamsayı dereceli yaklaşım yöntemlerine başvurulur. Böylece elde edilen tamsayı dereceli transfer fonksiyon üzerinden analitik hesaplamalar yaklaşık olarak yapılabilir. Ancak yüksek doğrulukta transfer fonksiyonlar elde edebilmek için yüksek dereceli yaklaşımlar kullanmak gerekmektedir. Örneğin (14)'te verilen kesir dereceli bir transfer fonksiyonunda $s^{0.3}$ 'ün sırasıyla birinci, ikinci ve üçüncü dereceden Matsuda yaklaşımlarının kullanılması sonucunda $G(s)$ 'in tamsayı dereceli eşdeğerleri (15-17)'de verilmiştir.

$$G(s) = \frac{1}{s^{2.3} + 3s^{1.3} + 1} \quad (14)$$

$$G_{M1}(s) = \frac{s^2 + 8.271s + 17.1}{4.136s^4 + 30.51s^3 + 59.45s^2 + 20.68s + 17.1} \quad (15)$$

$$G_{M2}(s) = \frac{s^4 + 54.56s^3 + 753.9s^2 + 261.7s + 23}{4.796s^6 + 172.5s^5 + 1244s^4 + 2517s^3 + 1233s^2 + 276.1s + 23} \quad (16)$$

$$G_{M3}(s) = \frac{s^6 + 130s^5 + 4443s^4 + 14050s^3 + 12380s^2 + 1193s + 30.54}{5.526s^8 + 483.8s^7 + 9084s^6 + 39090s^5 + 59870s^4 + 37560s^3 + 13780s^2 + 1210s + 30.54} \quad (17)$$



Şekil 1. Matsuda metodu ve GL ile hesaplanan birim basamak cevapları

Kesir dereceli bir transfer fonksiyonun zaman cevabı ayrıca nümerik olarak çizdirilebilmektedir. Nümerik yöntemlerden biri olan GL metodu kesine yakın sonuçlar vermektedir [20]. Burada tamsayı dereceli yaklaşım yöntemlerinin zaman cevabı analizindeki başarısının tespiti için GL metodu ile kıyaslama yapılmıştır. Denklem (15-17)'nin birim basamak cevapları ve GL nümerik yöntem ile hesaplanmış birim basamak cevabı Şekil 1'de üst üste çizdirilmiştir. Görüldüğü gibi üçüncü dereceden yaklaşım ile elde edilmiş olan $G_{M3}(s)$ 'in birim basamak cevabı, GL ile çizdirilmiş birim basamak cevabına en fazla yaklaşan sonuçtur. Bu durum yüksek dereceden yaklaşımların daha düşük hataya sahip olduklarını ve kesine yakın sonuçlar verdiklerini kanıtlamaktadır. Bu bilgiden yola çıkarak önerilen yöntem için daha az sayıda fonksiyon ile daha yüksek dereceden yaklaşımı temsil edebilecek ve aynı zamanda analitik türevlenebilen (18) zaman fonksiyonu modeli belirlenmiştir. Burada $f_{step}(t)$,

eğri uydurma yapılacak birim basamak cevabı fonksiyonudur. Denklem (18) ile kararlı yapıdaki sistem modellerinin birim basamak cevapları ifade edilebilir.

$$f_{step}(t) = ut^v + e^{-\beta_0 t^{\gamma_0}} - e^{-\beta_1 t^{\gamma_1}} + \dots - e^{-\beta_k t^{\gamma_k}} \quad (18)$$

$$F_{step}(s) = \frac{uv!}{s^{v+1}} + \frac{1}{(s + \beta_0)} - \frac{1}{(s + \beta_1)} + \dots - \frac{1}{(s + \beta_k)}, \gamma_i = 1, \quad (19)$$

$$i \in \{0, 1, 2, \dots, k\}$$

Denklem (18)'de $\gamma_i = 1$, $i \in \{0, 1, 2, \dots, k\}$ olsaydı fonksiyonun Laplace dönüşümü (19)'daki gibi hesaplanırdı. Ancak $\gamma_i \neq 1$ durumunda $f_{step}(t)$ fonksiyonunun analitik Laplace dönüşümü hesaplanamaz. $f_{step}(t)$, bu genel biçimiyle v ve $\gamma_i \neq 1$ 'ya bağlı olarak yüksek dereceden tam sayı dereceli transfer fonksiyonları temsil eder. Bu haliyle $f_{step}(t)$, kesir dereceli transfer fonksiyonların zaman cevaplarına daha iyi uyum sağlayacaktır. Fonksiyonun bilinmeyen reel parametreleri u, v, β_i ve γ_i en küçük kareler metodu kullanan eğri uydurma işlemi sonucunda tespit edilir. Böylece $G(s)$ kesir dereceli transfer fonksiyonunun birim basamak cevabını temsil eden zaman fonksiyonu $f_{step}(t)$ hesaplanmış olur. Aynı zamanda (20-21)'deki gibi $f_{step}(t)$ fonksiyonunun türevi alınarak $G(s)$ kesir dereceli transfer fonksiyonunun birim darbe cevabı $g(t)$ hesaplanabilir.

$$g(t) = \frac{df_{step}(t)}{dt} \quad (20)$$

$$g(t) = uvt^{(v-1)} - \beta_0 \gamma_0 t^{(\gamma_0-1)} e^{-\beta_0 t^{\gamma_0}} + \beta_1 \gamma_1 t^{(\gamma_1-1)} e^{-\beta_1 t^{\gamma_1}} \quad (21)$$

$$- \dots + \beta_k \gamma_k t^{(\gamma_k-1)} e^{-\beta_k t^{\gamma_k}}$$

$$g(t) \approx L^{-1}[G(s)] \quad (22)$$

Denklem (22)'de görüldüğü gibi $g(t)$, kesir dereceli $G(s)$ transfer fonksiyonunun yaklaşık ters Laplace dönüşümü olarak düşünülebilir. Denklem (8) biçimindeki kesir dereceli transfer fonksiyonlar için ilk iki terimli $f_{step}(t)$, (9) biçimindeki kesir dereceli transfer fonksiyonlar için ise ilk üç terimli $f_{step}(t)$ zaman fonksiyonu hesaplamalar için yeterli olmaktadır. Önerilen yöntem ile (8-9)'da verilen kesir dereceli transfer fonksiyon yapıları için birim darbe ve birim basamak cevaplarının zaman denklemleri yani yaklaşık ters Laplace dönüşümleri hesaplanabilmektedir. Bir diğer söylem ile sistemin kesir dereceli diferansiyel denkleminin yaklaşık olarak çözümü elde edilmektedir.

Önerilen metodun işlem basamakları:

Basamak 1: GL Metodu kullanılarak kesir dereceli transfer fonksiyonun birim basamak cevabının kesine yakın çizdirilmesi

Basamak 2: Denklem (8) formundaki transfer fonksiyon için ilk iki terimli $f_{step}(t)$ fonksiyonu belirlenmesi, Denklem (9) formundaki transfer fonksiyon için ilk üç terimli $f_{step}(t)$ fonksiyonu belirlenmesi

Basamak 3: En küçük kareler eğri uydurma yöntemi ile $f_{step}(t)$ 'nin birim basamak fonksiyonu eğrisine uydurma işleminin yapılması

Basamak 4: $f_{step}(t)$ fonksiyonundaki bilinmeyen parametrelerin elde edilmesi ve fonksiyonun yazılması

Basamak 5: $g(t) = \frac{df_{step}(t)}{dt}$ denklemi ile birim darbe cevabı fonksiyonuna geçiş yapılması

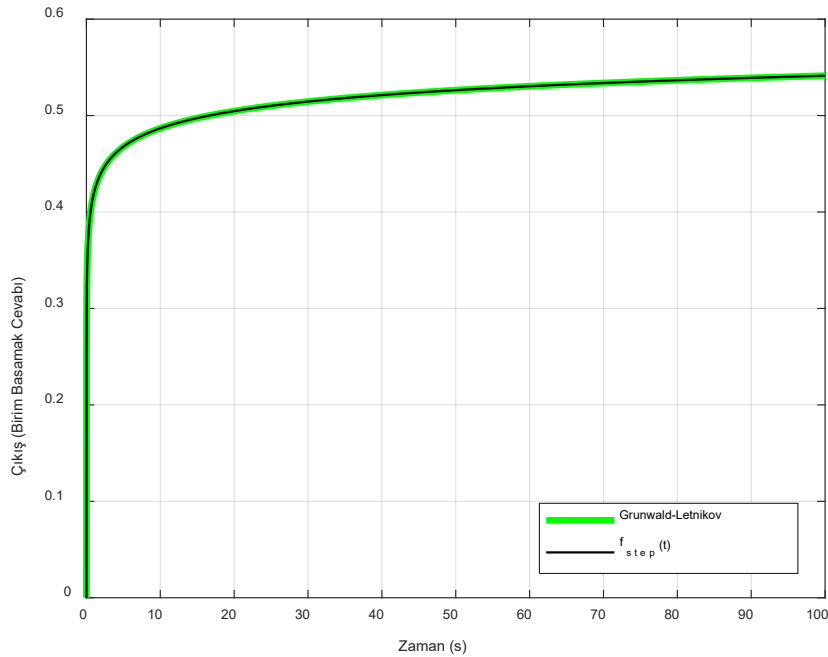
Önerilen yöntemin geçerliliği aşağıdaki örnekler üzerinde incelenmiştir.

Örnek 1: Denklem (23)'te verilen kesir dereceli temel transfer fonksiyonun zaman fonksiyonunu elde edelim;

$$G(s) = \frac{1}{s^{0.2} + 1.5} \quad (23)$$

Denklem (23)'te verilen kesir dereceli transfer fonksiyon, (8)'de verilen yapıdadır. Belirtildiği gibi bu formdaki transfer fonksiyonlar için $f_{step}(t)$ zaman fonksiyonunda ilk iki terim kullanılması yeterlidir. Önerilen yöntem ile $f_{step}(t)$ katsayıları $\alpha_1 = 0.2$ için $u = -0.127$, $v = 0.0513$, $\beta_0 = 0.6047$ ve $\gamma_0 = -0.1165$ olarak hesaplanmıştır. Böylece (23)'ün birim basamak cevabının yaklaşık zaman fonksiyonu ya da başka bir deyişle yaklaşık ters Laplace dönüşümü (24)'teki gibi elde edilir. Denklem (23)'ün GL kullanılarak ve yaklaşık olarak hesaplanan $f_{step}(t)$ fonksiyonu ile çizdirilmiş birim basamak cevapları Şekil 2'de verilmiştir.

$$f_{step}(t) = -0.127t^{0.0513} + e^{-0.6047t - 0.1165} \quad (24)$$



Şekil 2. Denklem (23)'ün önerilen ve GL metodu kullanılarak çizdirilmiş birim basamak cevabı

Şekil 2’de $f_{step}(t)$ ve GL ile çizdirilmiş birim basamak cevaplarının birbirini çok iyi takip ettikleri görülmektedir. Bu iki eğri arasındaki ortalama karesel hata 7.6717×10^{-5} olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar hesaplanan yaklaşık birim basamak cevabı fonksiyonunun oldukça başarılı olduğunu göstermektedir.

Denklem (23)’te ayrıca $\alpha_1 \in \{0.1, 0.2, 0.3, \dots, 0.9\}$ değerleri için $f_{step}(t)$ bilinmeyen parametreleri Tablo 1’de sunulmuştur. Tablo 1 incelendiğinde en büyük karesel hata değerinin $\alpha_1 = 0.9$ için 0.0072 olduğu görülmektedir. Bu hata değeri hesaplamalar için kabul edilebilir aralıklardadır. Ayrıca geliştirilen yazılım ile $0 < \alpha_1 < 1$ aralığındaki tüm değerler için $f_{step}(t)$ fonksiyonu hesaplanabilmektedir.

Çizelge 1. $\alpha_1 \in \{0.1, 0.2, 0.3, \dots, 0.9\}$ değerleri için $f_{step}(t)$ parametreleri ve hata miktarı.

| α_1 | u | v | β_0 | γ_0 | Ortalama Karesel Hata (RMSE) |
|------------|---------|--------|-----------|------------|------------------------------|
| 0.1 | -0.0709 | 0.0482 | 0.7335 | -0.0552 | 8.8769×10^{-5} |
| 0.2 | -0.127 | 0.0513 | 0.6047 | -0.1165 | 7.6717×10^{-5} |
| 0.3 | -0.1095 | 0.0947 | 0.6174 | -0.1738 | 9.9743×10^{-5} |
| 0.4 | -0.1258 | 0.1066 | 0.5667 | -0.2361 | 4.6232×10^{-5} |
| 0.5 | -0.1496 | 0.1047 | 0.5040 | -0.3032 | 0.0012 |
| 0.6 | -0.1747 | 0.0970 | 0.4414 | -0.3760 | 0.0022 |
| 0.7 | -0.1987 | 0.0871 | 0.3832 | -0.4563 | 0.0036 |
| 0.8 | -0.2204 | 0.0768 | 0.3310 | -0.5470 | 0.0052 |
| 0.9 | -0.2388 | 0.0672 | 0.2853 | -0.6521 | 0.0072 |

Denklem (23)’ün birim darbe cevabı $g(t)$ ’yi hesaplamak için (20-21) kullanılır. Yani $f_{step}(t)$ ’nin analitik yöntemler ile türevi alındığı zaman $g(t)$ fonksiyonu (25) gibi hesaplanmış olur. Aynı şekilde GL metodu ve $g(t)$ fonksiyonu kullanılarak çizdirilen birim darbe cevapları Şekil 3’te sunulmuştur. Her iki eğri birbiri ile başarılı biçimde örtüşmektedir. Burada $g(t)$ zaman fonksiyonu, (23)’te verilen kesir dereceli transfer fonksiyonun yaklaşık birim darbe cevabı fonksiyonu ya da başka bir ifadeyle yaklaşık ters Laplace dönüşümüdür.

$$g(t) = -0.0065t^{-0.9487} + 0.0704t^{-1.1165}e^{-0.6047t} - 0.1165 \quad (25)$$

Örnek 2: Denklem (26)’da verilen kesir dereceli temel transfer fonksiyonun zaman fonksiyonunu elde edelim;

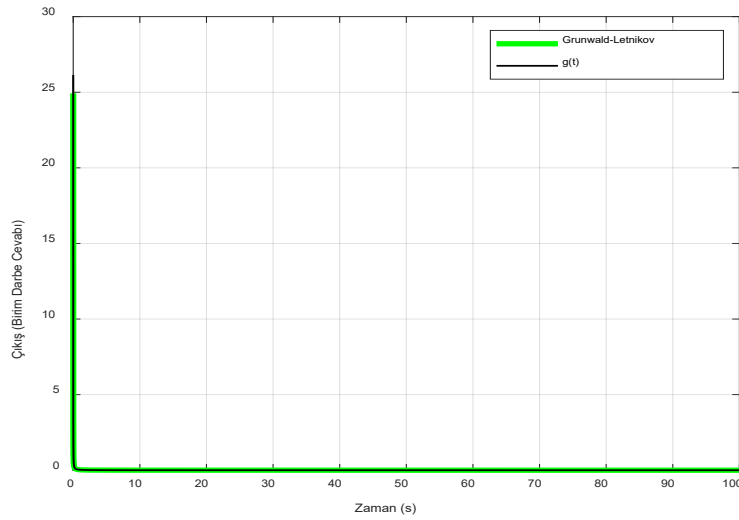
$$G(s) = \frac{0.8s^{0.3} + 0.26}{s^{0.6} + 0.75s^{0.3} + 1.42} \quad (26)$$

Denklem (26)’da verilen kesir dereceli transfer fonksiyon, (9)’da verilen yapıdadır. Bu formdaki transfer fonksiyonlar için $f_{step}(t)$ zaman fonksiyonunda ilk üç terim kullanılması gereklidir. Verilen

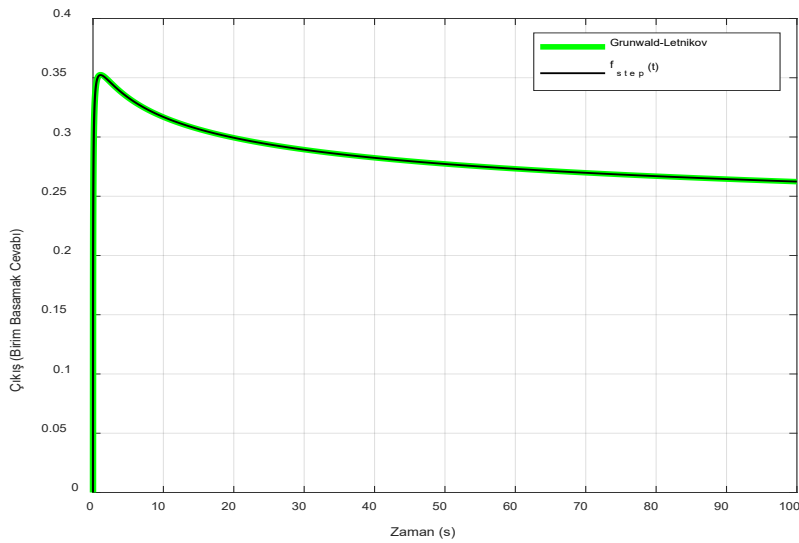
kesir dereceli transfer fonksiyonunda $\alpha_2 = 0.3$ 'tür. Önerilen yöntem ile $f_{step}(t)$ fonksiyonunun katsayıları $u = 0.1964$, $v = 0.0022$, $\beta_0 = 1.6051$, $\gamma_0 = 0.1169$, $\beta_1 = 3.1005$ ve $\gamma_1 = 0.2757$ olarak hesaplanmıştır. Böylece (26)'nın yaklaşık birim basamak cevabı fonksiyonu (27)'deki gibi elde edilir.

$$f_{step}(t) = 0.1964t^{0.0022} + e^{-1.6051t^{0.1169}} - e^{-3.1005t^{0.2757}} \quad (27)$$

Denklem (26)'nın GL ve yaklaşık olarak hesaplanan $f_{step}(t)$ fonksiyonu kullanılarak üst üste çizdirilmiş birim basamak cevapları Şekil 4'te verilmiştir. Şekil 4 incelendiğinde, bu örnekte de önerilen yöntem ile hesaplanan birim basamak cevabının, GL metodu ile hesaplanan birim basamak cevabına oldukça yakın olduğu görülmektedir. Ayrıca bu başarılı hesaplama iki eğri arasındaki ortalama karesel hatanın 7.2005×10^{-5} gibi oldukça küçük bir değer olmasından anlaşılmaktadır.



Şekil 3. Denklem (23)'ün önerilen ve GL metodu kullanılarak çizdirilmiş birim darbe cevabı



Şekil 4. Denklem (26)'nın önerilen ve GL metodu kullanılarak çizdirilmiş birim basamak cevabı

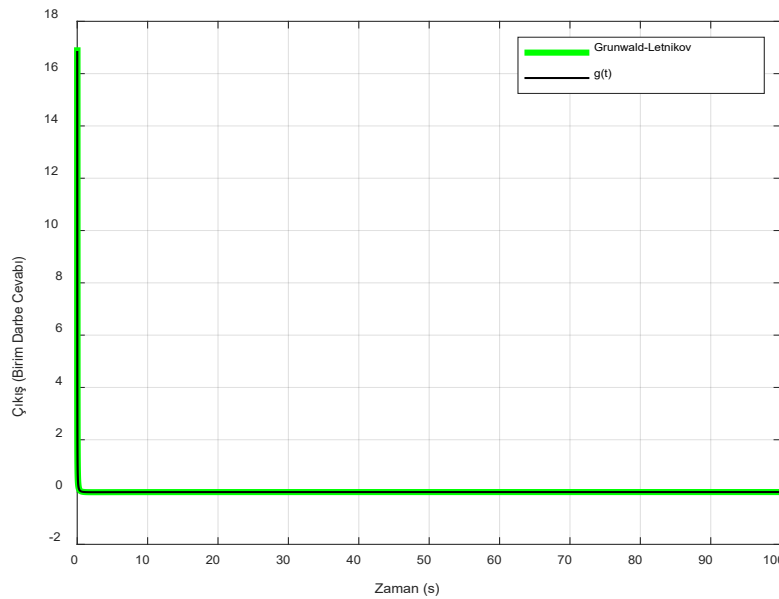
Yapılan hesaplamaların genel doğruluğunu gösterebilmek için bu örnekte $\alpha_2 \in \{0.1, 0.2, 0.3, \dots, 0.9\}$ değerleri için $f_{step}(t)$ katsayıları ve ortalama karesel hataları hesaplanmıştır. Hesaplanan katsayı ve hata miktarları Çizelge 2’de verilmiştir. Çizelge 2’den hata değerlerinin $7.8929 \times 10^{-5} - 0.0063$ aralığında olduğu görülmektedir. Önerilen yöntem ile (8-9)’da belirtilen kesir dereceli transfer fonksiyon formları için oldukça düşük hata değerlerinde yaklaşık zaman fonksiyonları hesaplanabildiği her iki örnekten elde edilen sonuçlar ile ortaya koyulmuştur.

Çizelge 2. $\alpha_2 \in \{0.1, 0.2, 0.3, \dots, 0.9\}$ değerleri için $f_{step}(t)$ parametreleri ve hata miktarı.

| α_2 | u | v | β_0 | γ_0 | β_1 | γ_1 | Ortalama Karesel Hata (RMSE) |
|------------|--------|--------|-----------|------------|-----------|------------|------------------------------|
| 0.1 | 0.2914 | 0.0027 | 1.9993 | 0.0805 | 2.4169 | 0.1112 | 7.8929×10^{-5} |
| 0.2 | 0.1744 | 0.0025 | 1.5466 | 0.0639 | 3.1302 | 0.1752 | 6.2353×10^{-5} |
| 0.3 | 0.1964 | 0.0022 | 1.6051 | 0.1169 | 3.1005 | 0.2757 | 7.2005×10^{-5} |
| 0.4 | 0.2032 | 0.0020 | 1.5795 | 0.1819 | 3.0928 | 0.3936 | 3.4933×10^{-4} |
| 0.5 | 0.2010 | 0.0018 | 1.5134 | 0.2520 | 3.1759 | 0.5359 | 0.0010 |
| 0.6 | 0.1965 | 0.0016 | 1.4217 | 0.3358 | 3.2574 | 0.7116 | 0.0024 |
| 0.7 | 0.1919 | 0.0015 | 1.2675 | 0.4708 | 3.1058 | 0.9491 | 0.0042 |
| 0.8 | 0.1879 | 0.0013 | 0.9208 | 0.8439 | 2.2234 | 1.3488 | 0.0056 |
| 0.9 | 0.1843 | 0.0012 | 0.1085 | 2.5965 | 0.5187 | 1.3259 | 0.0063 |

Denklem (26)’nın birim darbe cevabı $g(t)$, $f_{step}(t)$ fonksiyonunun türevi alınarak (28) gibi hesaplanır. GL metodu ve $g(t)$ fonksiyonu ile çizdirilen birim darbe cevabı Şekil 5’te verilmiştir. Birim basamak cevabındaki çok düşük hataya sahip başarılı hesaplamalar, birim darbe cevabı eğrilerinin de birbirlerini başarılı bir şekilde takip etmesinden anlaşılmaktadır.

$$g(t) = 4.3208 \times 10^{-4} t^{-0.9978} - 0.1876 t^{-0.8831} e^{-1.6051 t^{0.1169}} + 0.8548 t^{-0.7243} e^{-3.1005 t^{0.2757}} \quad (28)$$



Şekil 5. Denklem (26)’nın önerilen ve GL metodu kullanılarak çizdirilmiş birim darbe cevabı

4. Sonuçlar

Bu çalışmada kesir dereceli kontrol sistemlerinde bazı temel transfer fonksiyon yapıları için zaman cevabı fonksiyonlarını yaklaşık olarak hesaplayabilen bir çözüm önerilmiştir. Bazı temel kesir dereceli transfer fonksiyon yapıları ve onların yaklaşık zaman cevabı fonksiyonları açıklanmıştır. Önerilen yöntemin uygulaması örneklerle gösterilmiştir. Hesaplanan yaklaşık zaman cevabı fonksiyonları ile birim basamak ve darbe cevapları çizdirilmiştir. Bu zaman cevapları GL metodu ile kıyaslanmıştır. Hata miktarları sadece birim basamak cevapları üzerinden hesaplanmıştır. Önerilen yöntem ile GL metodu hesaplamaları arasındaki hata miktarlarının oldukça düşüktür. Yöntem yüksek doğrulukta sonuçlar vermektedir. Bu yöntemle hesaplanan zaman fonksiyonları, verilen kesir dereceli transfer fonksiyonların yaklaşık ters Laplace dönüşümleridir. Kesir dereceli bir diferansiyel denkleme yaklaşık olarak çözüm sunmaktadır. Ayrıca bu çalışma daha karmaşık yapıdaki kesir dereceli transfer fonksiyonların yaklaşık zaman cevaplarının hesaplanması için bir temel niteliğindedir.

Kaynaklar

- [1] Monje CA, Chen Y, Vinagre BM *et al.* Fractional-order systems and controls: fundamentals and applications. London: Springer-Verlag London; 2010.
- [2] Bagley RL, Calico R. Fractional order state equations for the control of viscoelasticallydamped structures. *Journal of Guidance, Control, and Dynamics* 1991; 14:304-311.
- [3] Skaar SB, Michel A, Miller R. Stability of viscoelastic control systems. *IEEE Transactions on Automatic Control* 1988; 33:348-357.
- [4] Ichise M, Nagayanagi Y, Kojima T. An analog simulation of non-integer order transfer functions for analysis of electrode processes. *Journal of Electroanalytical Chemistry and Interfacial Electrochemistry* 1971; 33:253-265.
- [5] Hartley TT, Lorenzo CF. Dynamics and control of initialized fractional-order systems. *Nonlinear Dynamics* 2002; 29:201-233.
- [6] Sun H, Abdelwahab A, Onaral B. Linear approximation of transfer function with a pole of fractional power. *IEEE Transactions on Automatic Control* 1984; 29:441-444.
- [7] Magin RL. Fractional calculus in bioengineering. *Critical Reviews™ in Biomedical Engineering* 2004; 32:1-104.
- [8] Hartley TT, Lorenzo CF, Qammer HK. Chaos in a fractional order Chua's system. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications* 1995; 42:485-490.
- [9] Nonnenmacher T, Glöckle W. A fractional model for mechanical stress relaxation. *Philosophical magazine letters* 1991; 64:89-93.
- [10] Westerlund S, Ekstam L. Capacitor theory. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation* 1994; 1:826-839.
- [11] Manabe S. The non-integer integral and its application to control systems. *Journal of Institute of Electrical Engineers of Japan* 1960; 80:589-597.
- [12] Manabe S. The System Design by the Use of a Model Consisting of a Saturation and Non-Integrals. *Journal of Institute of Electrical Engineers of Japan* 1962; 82:1731-1739.
- [13] Yeroglu C, Tan N. Development of a toolbox for frequency response analysis of fractional order control systems. In: *European Conference on Circuit Theory and Design (ECCTD 2009) Antalya, Turkey; 2009.*
- [14] Carlsson G, Halijak C. Approximation of fractional capacitors $(1/s)^{1/n}$ by a regular Newton process. *IEEE Transactions on Circuit Theory* 1964; 11:210-213.
- [15] Charef A, Sun H, Tsao Y, Onaral B. Fractal system as represented by singularity function. *IEEE Transactions on Automatic Control* 1992; 37:1465-1470.
- [16] Das S. *Functional fractional calculus for system identification and controls.* Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg; 2008.
- [17] Matsuda K, Fujii H. H~ Optimized Wave-Absorbing Control: Analytical and Experimental Results. *Journal of Guidance Control and Dynamics* 1993; 16:1146-1146.

- [18] Oustaloup A, Levron F, Mathieu B, Nanot FM. Frequency-band complex noninteger differentiator: characterization and synthesis. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications* 2000; 47:25-39.
- [19] Valério D, da Costa JS. Time domain implementations of non-integer order controllers. In: *Proceedings of Control'2002 Portuguese Conference on Automatic Control*, Portugal; 2002.
- [20] Atherton DP, Tan N, Yüce A. Methods for computing the time response of fractional-order systems. *IET Control Theory & Applications* 2014; 9:817-830.
- [21] Podlubny I. *Fractional differential equations*. USA: Academic press; 1998.
- [22] Polubny I. Fractional-order systems and $PI\lambda D\mu$ controller. *IEEE Trans. Automatic Control* 1999; 44:208-214.
- [23] Yüce A, Tan N. Derivation of Analytical Inverse Laplace Transform for Fractional Order Integrator. *Journal of Applied Nonlinear Dynamics* 2017; 6:303-314.
- [24] Yüce A, Tan N. Inverse Laplace Transforms of the Fractional Order Transfer Functions. In: *11th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO)*, Bursa, Turkey; 2019.
- [25] Yüce A, Tan N. On the approximate inverse Laplace transform of the transfer function with a single fractional order. *Transactions of the Institute of Measurement and Control* 2020; 0.
- [26] Caponetto R, Dongola G, Fortuna L, Petráš I. *Fractional Order Systems: Modeling and Control Applications*. World Scientific; 2010.
- [27] Petras I. Stability of fractional-order systems with rational orders: a survey. *Fractional Calculus & Applied Analysis* 2009; 12:269–298.
- [28] Chen Y, Petráš I, Xue D. Fractional order control: a tutorial. In: *Proceedings of the 2009 conference on American Control Conference*, St. Louis, Missouri, USA; 2009.
- [29] Matusů R. Application of fractional order calculus to control theory. *International Journal of Mathematical models and methods in applied sciences* 2011; 5:1162-1169.
- [30] Xue D, Chen Y, Atherton DP. *Linear feedback control: analysis and design with MATLAB*. Philadelphia, USA: Society for Industrial and Applied Mathematics; 2007.
- [31] Chen Y, Petras I, Vinagre B. A list of Laplace and inverse Laplace transforms related to fractional order calculus. In: [Online] http://ivopetras.tripod.com/foc_laplace.pdf. 2001.

ULTRA GENİŞ BANT UYGULAMALARI İÇİN TASARLANMIŞ BİR DÜZLEMSEL ELİPTİK TEK KUTUPLU ANTEN

Göker ŞENER*

Çankaya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Ankara, 06790, Türkiye
Geliş Tarihi/Received Date: 06.10.2021 Kabul Tarihi/Accepted Date: 09.01.2022 DOI: 10.54365/adyumbd.1005515

ÖZET

Bu makalede 1-10 GHz ultra geniş bantta ışıma yapabilen bir düzlemsel eliptik tek kutuplu anten tasarlanmıştır. Yapısal olarak düzlemsel tek kutuplu antenler mikro şerit antenlerin kalınlığının artırılarak toprak düzleminin ortadan kaldırılması ile elde edilir. Mikro şerit antenlerin kalınlığının artması ile tüm rezonans frekanslarında oluşan dalga kiplerinin frekans bandı da artmış olur. Böylece ultra geniş bantlı ışıma meydana gelir. Bununla birlikte tek kutuplu antenler, tüm bant boyunca her yönde aynı ışıma özelliği göstermezler. Genelde arzu edilen, tüm bant boyunca tek yönlü doğrusal polarizasyonda ve dik yönde yüksek kazanç verecek bir ışıma karakteristiğidir. Bu makalede bu özelliği sağlamak için farklı boyutta iki eliptik tek kutuplu anten, yansıtıcı bir toprak düzlemi üzerine yerleştirilmiştir. Bu tasarlanan anten bütün bant boyunca tek yönlü doğrusal polarizasyon ile dik yönde 1-10 GHz frekanslarında sırasıyla 4.38-3.22 dB kazanç sağlamaktadır. Elde edilen bu değerler literatürdeki diğer eliptik tek kutuplu antenlerle karşılaştırılmış ve tasarımın bant boyunca aynı ışıma karakteristiği ile 3.22 dB'nin üzerinde kazanç sağladığı gösterilmiştir. Önerilen bu anten, 2.4-5 GHz geniş bant WLAN sistemleri ve anten ölçümleri gibi ultra geniş bant uygulamalarında kullanılmaya uygundur.

Anahtar Kelimeler: Mikroşerit antenler, ultra geniş bantlı antenler, düzlemsel eliptik tek kutuplu antenler

A PLANAR ELLIPTICAL MONOPOLE ANTENNA DESIGNED FOR ULTRA WIDE BAND APPLICATIONS

ABSTRACT

In this article, a planar elliptical monopole antenna is designed that can radiate in 1-10 GHz ultra-wide band. Structurally, planar monopole antennas are obtained by increasing the thickness of microstrip antennas and eliminating the ground plane. As the thickness of microstrip antennas increases, the bandwidth of the wave modes formed at all resonant frequencies also increases. Thus, ultra-wide-band radiation occurs. However, monopole antennas do not show uniform radiation characteristics throughout the entire band. It is generally desirable to have radiation characteristics that give high gain in broadside direction with linear polarization throughout the entire band. In this article, two different sizes of elliptical monopole antennas with a reflective ground plane are used to provide this feature. This antenna provides a gain of 4.38-3.22 dB at 1-10 GHz frequencies in the broadside direction with linear polarization throughout the entire band. These obtained values are compared with other elliptical monopole antennas in the literature and it is shown that the design provides a gain of over 3.22 dB with the same radiation characteristics throughout the band. The proposed antenna is suitable for use in ultra-wideband applications such as 2.4-5 GHz broadband WLAN systems and antenna measurements.

Keywords: Microstrip antennas, ultra wide band antennas, planar elliptical monopole antennas

1. Giriş

Günümüzde birçok kablosuz haberleşme sistemleri geniş bir frekans bandı içinde çalışmaktadır. Örneğin, GSM (global system for mobile communication) sistemleri 900 MHz ve 1800 MHz frekanslarında, WLAN (wireless local area network) sistemleri 2.4-5 GHz bandında ve birçok radar

* e-posta: sener@cankaya.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7563-3254> (Sorumlu Yazar),

sinyalleri ise 8-12 GHz bandında haberleşme yapmaktadır [1]. Bu sistemlerin bazıları eşit yönlü (izotropik) anten kullanımı gerektirirken, birçoğu da dik yönde ışıma kabiliyeti olan kazançlı antenler gerektirmektedir. Örneğin anten ölçümünde kullanılacak bir antenin ultra geniş bir bantta çalışmasının yanında yönlü kazançla sahip olması da beklenir [2].

Düzlemsel tek kutuplu antenler bu amaçla sıklıkla kullanılırlar zira ultra geniş bir empedans bandına sahiptirler. Bu antenlerin yapısı mikro şerit antenlere dayanmaktadır. Mikro şerit yama antenler ise genel olarak 5-6 dB kazancında dik yönde ışıma yapan dar bantlı antenlerdir. Bu antenlerin empedans bandını genişletmek için tabaka kalınlığını arttırmak veya tabakada kullanılan yalıtkan maddenin elektrik geçirgenliğini düşürmek gerekir [3].

Tek kutuplu antenler mikro şerit yama antenlerin elektrik geçirgenliği $\epsilon_r=1$ kullanılarak ve tabaka kalınlığının artırılması ile elde edilir. Antenin kalınlığı arttığı için de bant genişlemektedir. Ayrıca yamanın kenardan beslenmesi ile yüzeyde oluşan empedans eşleme problemleri de ortadan kaldırılmış olur. Ayrıca tabaka yüksekliğinin artması ile toprak düzlemi ve iletken yama arasındaki etkileşim de azalır. Böylece birçok tek kutuplu anten toprak düzlemi tamamen ortadan kaldırılarak da kullanılabilir [4-7].

Düzlemsel tek kutuplu antenlerin yama şekilleri dikdörtgen, üçgen, dairesel veya eliptik olabilir [8]. En fazla empedans bandını dairesel yakın boyutta eliptik antenler vermektedir. Yama içinde birçok geniş bantlı yüksek sıralı kip üretilir ve bu kiplerin her biri geniş bantlı olduğu için toplam frekans bandı da artmaktadır. Bununla birlikte düzlemsel tek kutuplu antenlerin en büyük dezavantajı ise yüksek sıralı kiplerin ışıma karakteristiğinin bütün frekans bandında aynı olmamasıdır. Özellikle tek yönde doğrusal polarizasyon ve dik yönde yüksek kazanç veren bir ışıma karakteristiği bandın alt bölümlerinde mevcuttur. Örneğin, [9]'da düzlemsel eliptik tek kutuplu antenlerin üzerinde çalışılmış ve farklı eliptik oranlar için anten ışıma karakteristiği değerlendirilmiştir. Bu çalışmada 1.5, 4 ve 6 GHz frekanslarında anten ışıma örüntüsü gösterilmiştir. Burada 1.5 ve 4 GHz alt bantlarında hemen hemen eş yönlü olan anten ışıma örüntüsünün 6 GHz'de anten düzlemine dik yönde 15 dB azaldığı ve maksimum ışımanın da $\theta=30^\circ$ 'ye kaydığı görülmektedir. Benzer şekilde [10]'de ultra geniş bantlı eliptik tek kutuplu anten analiz edilmiş ve ışıma düzeni 3.1 GHz, 6.85 GHz ve 10.6 GHz frekanslarında çizdirilmiştir. Burada da 3.1 GHz'de eş yönlü olan ışıma düzeninin frekans arttıkça bozulduğu görülmektedir.

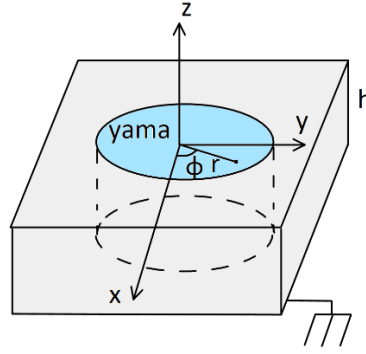
Bu makalede 1-10 GHz ultra geniş bant aralığında VSWR<2 olacak şekilde dik yönde tek yönlü doğrusal polarizasyon ile ışıma yapabilen bir düzlemsel eliptik tek kutuplu anten tasarlanmıştır. Antenin her frekansta dik yönde tek polarizasyonda ışıma yapabilmesi için iki ayrı boyutta eliptik tek kutuplu anten reflektör toprak düzlemi üstünde arka arkaya yerleştirilmiştir. Bu antenlerin beslemeleri eş eksenli T-konektör kullanılarak tek beslemeye çevrilmiştir. Ayrıca, mikro şerit iletim hatları kullanıldığı takdirde beslemeleri teke indirgemek için güç bölücü devreler de kullanılabilir. Tasarlanan anten 1-10 GHz frekans bandı boyunca tek yönlü doğrusal polarizasyon ile dik yönde sırasıyla 4.38-3.22 dB kazanç sağlamaktadır. Elde edilen bu kazanç değerleri literatürdeki diğer eliptik tek kutuplu antenlerle karşılaştırılarak sonuç bölümünde grafik olarak gösterilmiştir.

2. Ultra Geniş Bantlı Tek Kutuplu Anten Tasarımı

Ultra geniş bant uygulamalarında kullanılan eliptik yamanın geometrisi dairesel çok yakın olduğu için eliptik tek kutuplu anten tasarımında dairesel mikro şerit anten analizi kullanılabilir.

2.1. Oyuk Yöntemi (Cavity Method) ile Düzlemsel Dairesel Tek Kutuplu Anten Analizi

Oyuk metoduna göre önce dairesel yama altında oluşan alanlar, yüksek kalınlıkta bir mikro şerit yapı içinde hesaplanarak bulunur. Daha sonra bu alanların oluşturduğu eşdeğer yama akımları hesaplanır. Bu akımların ışıma integralinde kullanılmasıyla da yayılan \vec{E} ve \vec{H} alanları elde edilir.



Şekil 1. Dairesel mikro şerit anten geometrisi

Dairesel mikro şerit antenin geometrisi Şekil 1’de gösterilmiştir. Öncelikle yama altında oluşan alanları bulmak için dalga denklemi

$$(\nabla^2 + k^2) \bar{E} = 0 \quad (1)$$

yama ve toprak düzlemi arasında kalan silindirik yapı (oyuk) içinde kenar yüzeyindeki sınır koşulları kullanılarak çözülür. İfadede dalga sayısı $k=2\pi\sqrt{(\epsilon_r)/\lambda_0}$ olarak tanımlıdır. Denklemin çözümü ile bulunan alanlar aşağıda verilmiştir [11].

$$E_z = E_0 J_n(kr) \cos(n\phi) \quad (2)$$

$$H_r = \frac{-jn}{\omega\mu r} E_0 J_n(kr) \sin(n\phi) \quad (3)$$

$$H_\phi = \frac{-jk}{\omega\mu} E_0 J_n'(kr) \cos(n\phi) \quad (4)$$

şeklinde. Burada E_0 elektrik alanının genliği, $J_n(kr)$ n dereceden Bessel fonksiyonu, r ve ϕ ise dairesel koordinat değişkenleridir. Dolayısı ile oyuk içinde TM_{mn} alanları oluşmaktadır. Oyuk içinde oluşan alanların diğer bileşenleri ise sıfırdır. Işıma ile oluşan alan hesaplamaları ve denklemleri tasarım için kullanılmadığından burada verilmeyecektir.

2.2. Dairesel Mikro şerit Antenin Işıma Frekansları (Rezonans frekansları)

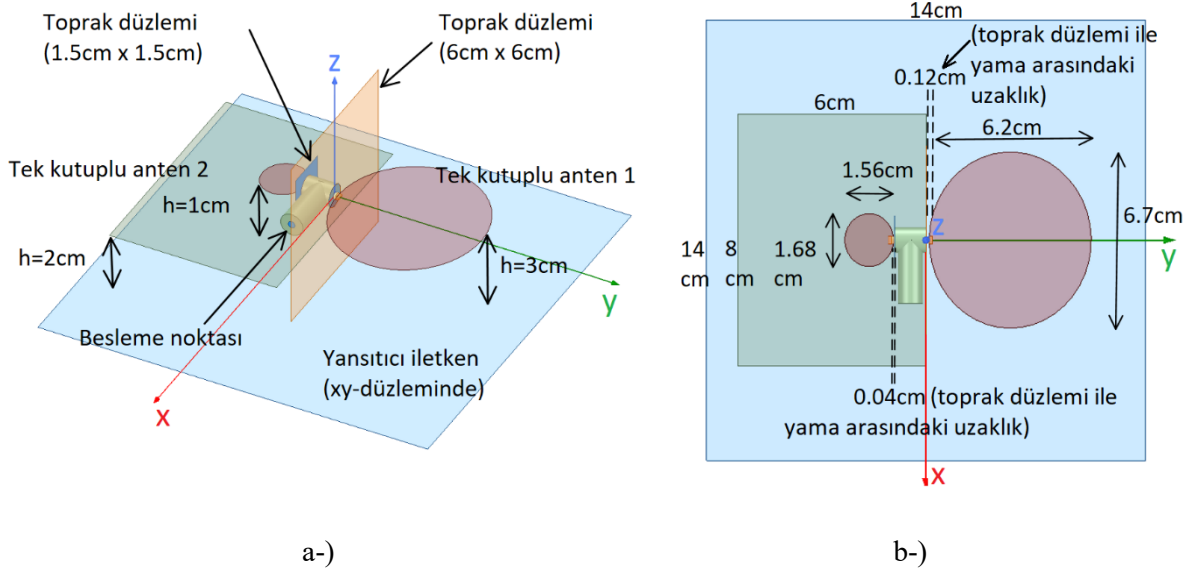
Bir önceki kısımda oyuk içinde bulunan alanları hesaplarken yan yüzeyde kullanılan sınır değeri

$$J_n(r = a) = H_\phi(r = a) = 0 \quad (5)$$

şeklinde. Burada “a” dairenin yarıçapıdır. (1) ve (4)’ü kullanarak

$$J_n'(ka) = 0 \quad (6)$$

olur. Dolayısı ile her bir “a” yarıçapı için bir ışıma frekansı hesaplanabilir. Örneğin, χ_{mn} sayısı n dereceden Bessel fonksiyonu türevi $J_n'(kr)$ ’nin m dereceden kökü olsun. Burada $n=1, 2, 3, \dots$ ve $m=1, 2, 3, \dots$ olarak tanımlanır ve $n=1$ ve $m=1$ için minimum ışıma frekansı elde edilir. Bu frekansta oluşan TM_{11} alanları (\bar{E} ve \bar{H}) ve yama yüzeyinde oluşan akımlar Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 3. Tasarlanan düzlemsel tek kutuplu eliptik antenin geometrisi ve boyutları a-) 3 boyutlu geometrisi b-) üstten görünüş

2.5. Düzlemsel Eliptik Tek Kutuplu Anten Tasarımı

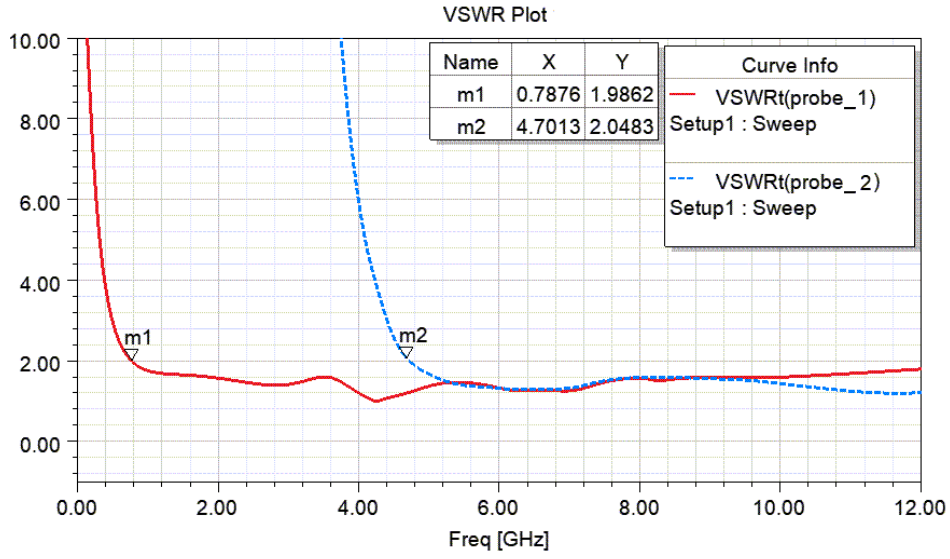
Önceki bölümlerdeki teorik hesaplamalar neticesinde tasarlanan tek kutuplu antenin şekli ve ölçüleri Şekil 3’de gösterilmiştir. Besleme noktasında T-konektöre bağlı bir eş yönlü (koaksiyel) kablo bulunmaktadır. Bu kablo ile arka arkaya yerleştirilmiş iki eliptik tek kutuplu anten beslenir. Ayrıca farklı iki yansıtıcı iletken düzlem eliptik yamaların altına yerleştirilmiştir. Büyük yamanın toprak düzlemi boyutları 6 cm × 6 cm ve küçük yamanın ise 1.5 cm × 1.5 cm olacak şekilde herhangi bir hesaplama olmadan seçilmiştir. Yine benzer şekilde büyük yansıtıcı iletken düzlem 14 cm × 14 cm ve küçük düzlem ise 8 cm × 6 cm olarak seçilmiştir. Büyük yama ile bu yamanın toprak düzlemi arasındaki uzunluk 0.12 cm ve küçük yama için bu uzunluk 0.04 cm’dir. Gerek yamalarda gerekse toprak düzlemindeki tüm iletkenler için alüminyum kullanılmıştır. Ayrıca anten havada duracak şekilde elektrik geçirgenliği $\epsilon_r=1$ olarak tasarlanmıştır.

3. Ultra Geniş Bantlı Tek Kutuplu Anten Analizi

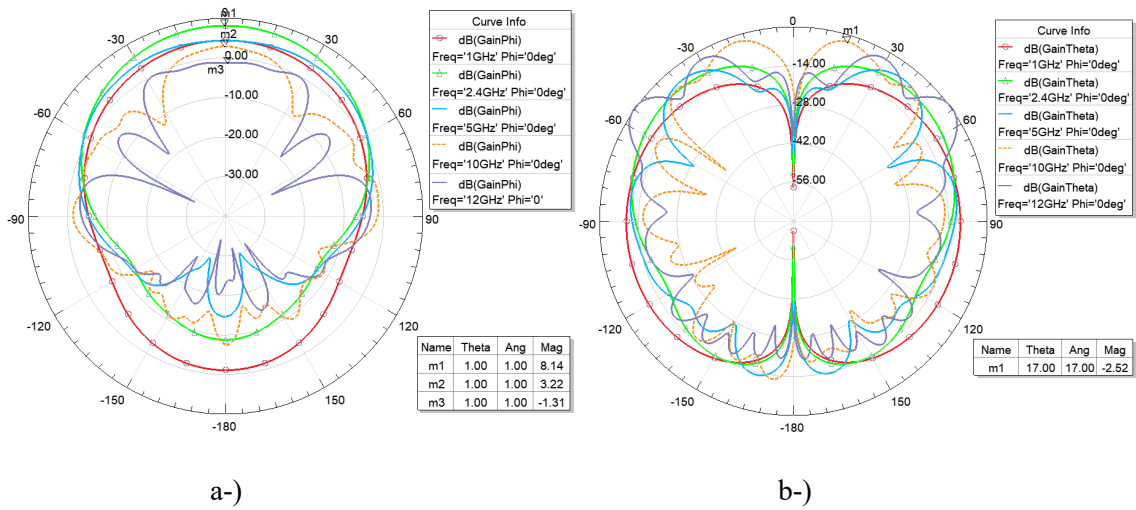
3.1. Empedans Bandı Analizi

Tasarlanan antenin simülasyonu HFSS programı ile yapılırken T-konektör yerine aynı genlik ve fazda 50 Ω empedansında iki ayrı kaynak iki antenin beslemesinde kullanılmıştır. Böylece T-konektörün işlevi korunmuştur. Ayrıca bu şekilde, eliptik yamaların her birinin toplam ışımaya olan etkisini incelenmek de mümkün olmuştur.

Antenin empedans bandı analiz edilmiş ve sonuçlar Şekil 4’de VSWR değerleri için frekans ekseninde gösterilmiştir. Burada birinci grafik (probe 1) büyük olan yamanın, yani birinci antenin empedans bandını ve ikinci grafik ise (probe 2) küçük olan yamanın, yani ikinci antenin empedans bandını göstermektedir. Görüldüğü gibi birinci anten için rezonans frekansı 0.78 GHz’de başlamaktadır. Ancak bu frekansta antenin kazancı çok düşük olduğu için (-9.20 dB) ışıma frekansı 1 GHz’den başlıyor kabul edebiliriz. İkinci anten ise 4.7 GHz frekansında ışıma yapmaya başlamaktadır. İstenilen yöndeki

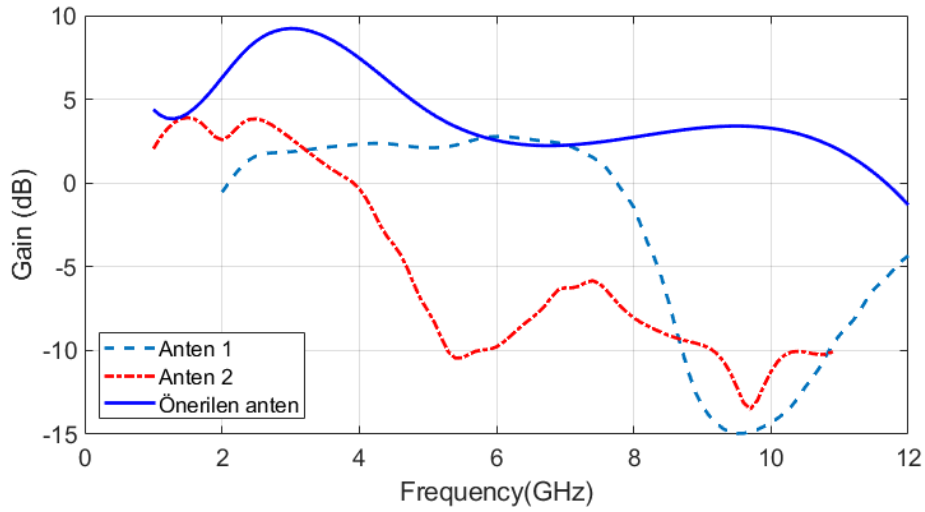


Şekil 4. Düzlemsel tek kutuplu eliptik antenin VSWR grafiği



Şekil 5. Düzlemsel tek kutuplu eliptik antenin xz-düzleminde uzak alanda güç kazancının anten ışınma örüntüsü a-) E_ϕ bileşeni için (istenilen) b-) E_θ bileşeni için (istenmeyen)

ışınma z-ekseni yönünde ve elektrik alan vektörü ise y-ekseni yönünde olacak şekildedir. Başka bir ifadeyle küresel küresel koordinatlarda istenilen elektrik alan vektörü (co-polar) xz-düzleminde ($\varphi=0$ düzlemi) E_ϕ bileşeni ile gösterilirken aynı düzlemde E_θ bileşeni ise istenmeyen bileşendir (cross-polar). Böylece 1-4.7 GHz aralığındaki ışınma örüntüsünü birinci anten, 4.7-10 GHz arasındaki ışınma örüntüsünü ise ikinci anten sağlamaktadır ve 1-10 GHz bandının tümünde istenilen yönde yüksek kazanç ile ışınma yapılabilmektedir. Antenin uzak alandaki ışınma örüntüsü Şekil 5'de güç kazancı olarak xz-düzleminde E_ϕ ve E_θ bileşenleri için ayrı ayrı gösterilmiştir. Buradan görüldüğü üzere 1-10 GHz bandında anten kazancı 4.38-3.22 dB arasında dik yönde istenilen polarizasyonda (E_ϕ) değişmektedir. En yüksek kazanç ise 2.4 GHz'de 8.14 dB olarak elde edilmiştir.



Şekil 6. Tasarlanan antenin kazanç grafiğinin [13] ve [14]'deki eliptik tek kutuplu antenler ile (sırasıyla Anten 1 ve Anten 2) karşılaştırılması

4. Sonuçlar

Bu makalede 1-10 GHz bandında düzlemsel polarizasyon ile yüksek kazançlı ışınım yapabilen bir düzlemsel tek kutuplu anten tasarlanmıştır. Bu antenin teorik tasarımı ve HFSS bilgisayar simülasyonu yapılmıştır. Elde edilen sonuçlardan aşağıdaki yorumlar çıkarılmıştır:

- Anten istenilen bantta ışınım yapmaktadır.
- Dik yönde ve istenilen polarizasyondaki anten kazancı bant içinde 4.38-3.22 dB arasında değişmektedir (bkz. Şekil 5a). Elde edilen bu kazanç değerleri literatürdeki diğer eliptik tek kutuplu antenlerle karşılaştırılmış ve Şekil 6'da sonuçları gösterilmiştir. Burada, [13]'deki eliptik tek kutuplu antenin boyutları 18.3 mm × 18.8 mm ve [14]'deki antenin boyutları ise 38 mm × 79 mm olarak verilmiştir. Bu çalışmalardaki kazanç grafikleri dijital olarak Matlab'a aktarılarak Şekil 6'daki grafik elde edilmiştir.
- Şekil 5b'de görüldüğü üzere dik yönde ve istenmeyen polarizasyondaki anten kazancı maksimum 10 GHz'de -1.4926 dB olarak elde edilmiştir. Böylece istenilen/istenmeyen polarizasyon oranı (co-polar to cross-polar ratio) $3.22 - (-1.4926) = 4.7$ dB olmaktadır. Diğer frekanslarda bu oran daha da yüksektir.
- Şekil 5a'daki istenilen yöndeki ışınım grafiğinde özellikle 1 GHz'de 3-4 dB seviyesinde olan geri ışınım değeri iletken yansıma düzleminin boyutlarının artması ile azaltılabilir. Bu yöntem ayrıca diz yöndeki kazancı da göreceli olarak artıracaktır.
- Antenin ışınım verimliliği ise tüm bant boyunca 0.98 değerinde ölçülmüştür. Burada metaldeki iletken kayıpların az olması ve di-elektrik olarak havanın kullanılmasıyla yüzey akımlarıyla oluşan kayıpların az olması verimliliğin yüksek olmasındaki önemli etkenlerdir.
- Anten 1-10 GHz arasında yüksek kazançlı geniş bant uygulamaları için kullanılabilir.

Kaynaklar

- [1] Karmokar DK, Morshed KM, Hossain S, Mollah N. A high-gain slot-loaded microstrip patch antenna fed by a half-width microstrip line for 5.5 and 5.8 GHz Wi-Fi/WiMAX applications. Proceedings of International Conference on Electrical Information and Communication Technology, IEEE Proceedings, Khulna, Bangladesh 2015; 359-363.
- [2] Balanis CA, Antenna theory analysis and design. John Wiley and Sons, New York, 1997.
- [3] Khalil HS, Yasser AF. Design aspects of UWB printed elliptical monopole antenna with impedance matching. Loughborough Antennas & Propagation Conference (LAPC), IEEE Proceedings, Loughborough, UK, 2012.
- [4] Kumar G, Ray KP. Broadband microstrip antennas. Artech House, Boston, London, 2003.
- [5] Deng C, Li L, Gong Q, Zhan D, Zou Y. Planar printed monopole antennas for ultra-wideband/multi-band wireless system. 4th IEEE International Symposium on Microwave, Antenna, Propagation and EMC Technologies for Wireless Communications, Beijing, China, 2011.
- [6] Cao P, Huang Y, Zhang J, Lu Y. A comparison of planar monopole antennas for UWB applications. Loughborough Antennas & Propagation Conference, Loughborough, UK, 2011.
- [7] Abbosh AM, Bialkowski ME. Design of ultrawideband planar monopole antennas of circular and elliptical shape. IEEE transactions on Antennas and Propagation 2008; 56: 17-23.
- [8] Ping C, Yi H, Jingwei Z, Yang L. A comparison of planar monopole antennas for UWB applications. Loughborough Antennas & Propagation Conference, IEEE Proceedings, Loughborough, UK, 2011.
- [9] Ray KP, Ranga Y. Ultrawideband printed elliptical monopole antennas. IEEE Transactions on Antennas and Propagation 2007; 55: 1189–1192.
- [10] Bharadwaj ON, Rajakumar K. A novel planar monopole design for UWB applications. IEEE Applied Electromagnetics Conference (AEMC), Kolkata, India, 2011.
- [11] Garg R, Bhartia P, Bahl I, Ittipiboon A. Microstrip Antenna Design Handbook, Artech House, Boston, London, 2001.
- [12] Wong KL. Compact and Broadband Microstrip Antennas, John Wiley and Sons, New York, USA, 2002.
- [13] Andre VS. Lages, Marcelo N. Kawakatsu, Dmitriev V. Planar elliptical UWB monopole antenna with high efficiency. International Microwave and Optoelectronics Conference, Natal, Brazil, 2011.
- [14] Nazlı H, Bıcağ E, Turetken B, Sezgi M. An improved design of planar elliptical dipole antenna for UWB applications. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters 2013; 9: 264-267.

EFFECTS OF PH AND CURRENT DENSITY ON MICROSTRUCTURE AND HARDNESS OF THE COBALT-TUNGSTEN ALLOY

Kürşad Oğuz OSKAY*

Sivas Cumhuriyet University, Faculty of Engineering, Metallurgical and Materials Engineering, Sivas, 58040, Türkiye
Geliş Tarihi/Received Date: 10.10.2021 Kabul Tarihi/Accepted Date: 22.03.2022 DOI: 10.54365/adyumbd.1007722

ABSTRACT

In this study, cobalt-tungsten coatings were electrodeposited on copper substrates. Nanocrystalline and amorphous cobalt tungsten alloys were electrodeposited from citrate-boric acid baths. The characterization of the alloy coatings was carried out by scanning electron microscopy (SEM), X-ray fluorescence (XRF), and X-ray diffraction (XRD). The most significant factors, such as current density and pH of the electrolyte that affect the morphology, tungsten composition, and microhardness value, were studied. The tungsten content of the electrodeposits varied 11 to 46% by changing process variables. The microhardness value of the coatings was decreased dramatically when the tungsten composition exceeded 35%. Response surface methodology was used to construct models for predicting microhardness value and tungsten composition of the coating. The optimal conditions for the electrodeposition were found as follows: current density of 5A/dm² and pH 6. Under optimal conditions, the coating exhibits a hardness of 570 HV.

Keywords: Cobalt, tungsten, electrodeposition

PH VE AKIM YOĞUNLUĞUNUN KOBALT-TUNGSTEN KAPLAMALARININ MİKROYAPI VE SERTLİĞİNE ETKİLERİ

ÖZET

Bu çalışmada, bakır altlık malzemeler kullanılarak kobalt tungsten kaplamalar üretilmiştir. Sitrat-borat banyosu kullanılarak yapılan çalışmalarda, nanokristalin ve amorf kobalt-tungsten kaplamalar üretilmiştir. Kaplamaların karakterizasyonu için taramalı elektron mikroskobu (SEM), X-ışını floresansı (XRF) ve X-ışını kırınımı (XRD) cihazları kullanılmıştır. pH ve akım yoğunluğunun, kaplama morfolojisine, tungsten bileşimine ve mikrosertlik değerine etkileri incelenmiştir. Çalışmalar sırasında proses değişkenleri değiştirilerek üretilen numunelerin tungsten içeriği %11 ile 46 arasında değişmiştir. Deneylerde en yüksek sertlik değeri olarak 570 HV ölçülmüştür. Elektrolit pH'ı 6 olarak seçilen bu deneyde uygulanan akım yoğunluğu ise 5A/dm²'dir. Kaplamaların tungsten içeriğinin %35'i geçmesi ile kaplamaların sertliklerinde düşüş gözlemlenmiştir. Cevap yüzey yöntemi kullanılarak kaplamanın mikrosertlik değeri ve tungsten bileşimini tahmin edebilecek matematiksel modeller oluşturulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Kobalt, tungsten, elektrokaplama

1. Introduction

Its outstanding properties and numerous potential applications have propelled the interest in tungsten and its alloys. These alloys can be prepared using various methods [1, 2]. In order to prepare these coatings, one option is to use electrodeposition, which has obvious advantages such as simplicity, uniformity, low cost, and scalability, in comparison with the other coating methods. Electrodeposition is a versatile and cost-effective method for fabricating a wide variety of two and three-dimensional coatings. In this process, dissolved metal cations are reduced employing an electric current, resulting in a thin, coherent metal coating on an electrode. Unfortunately, tungsten cannot be deposited from an

* e-posta: kursadoskay@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4026-867X> (Sorumlu Yazar),

aqueous solution as a pure metal unless it can be co-deposited with iron group metals as an alloy. This type of electrodeposition is known as induced electrodeposition [3]. The interest in electrodeposited tungsten alloys with iron-group metals has increased in recent years due to their unique combination of anticorrosive [4], magnetic [5], and catalytic properties [6]. In addition, Co–W coatings are regarded as a suitable material for the defence industry, instead of hard chromium coatings deposited using hazardous hexavalent chromium baths [7, 8].

Plating bath composition and deposition parameters influence tungsten-containing alloy coating composition and microstructure [9]. The electrodeposition of Co-W alloys is reported from various electrolytes such as gluconate [10, 11], citrate-borate [12, 13], citrate-ammonia [14]. Citrate is one of the most commonly used additives in electrodeposition because it is a powerful complexing agent for a wide range of metals, including cobalt, nickel, copper, and tungsten. Besides, the citrate borate bath is environmentally friendly [15].

Electrolyte pH has a significant effect on the composition of alloy coating, deposition rate, and hardness. Because the formation of complexed cobalt-tungstate-citrate species is pH-dependent.

Due to the hydrogen evolution, pH increases near the electrode, and ammonia or ammonium salts can be used for buffering purposes. Electrodeposition of metal alloys from aqueous baths generally is carried out in non-hermetic cells [16]. In this situation, a considerable amount of ammonia can evaporate during long-term electrodeposition at higher temperatures. As a result, non-volatile citrate electrolytes using boric acid as a buffering agent rather than ammonia are preferable for long-term electrodeposition at elevated temperatures [16]. Because of this reason citrate-borate bath was used in this study.

To the best of our knowledge, there are no previous literature reports about optimising the Co-W electrodeposition process by central composite design method. Thus, this study is aimed to make the Co-W electrodeposition process commercially more viable by understanding the dominant process parameters that affect the coating microstructure and specifications by constructing mathematical models. For this purpose, the tungsten composition and microhardness value of the coating was selected as the responses. The pH and current density were selected as the factors that affect the responses.

2. Materials and Methods

Co-W coating was prepared by using a citrate-borate bath. Distilled water and analytical grade chemicals were used to prepare the plating solution. Table 1. shows the plating solution concentration and operational parameters. In addition, citric acid, sodium citrate dehydrate, and boric acid concentrations are held constant and listed in Table 1.

A platinized titanium net with dimensions of 250x300x100mm was used as an anode, and a copper plate was used as the cathode. Pretreatment of the working surface prior to the plating process includes ultrasonic cleaning in an organic solvent, water rinsing, anodic etching in phosphoric acid (80%) for 5 minutes at 1.5V. Then cathode was immersed in 10% HNO₃ and 1% H₂SO₄ solution for 1 minute respectively and rinsed in distilled water to remove oxides from the surface.

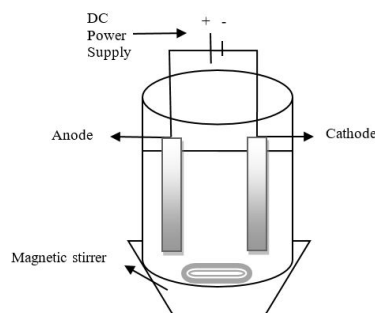


Figure 1. Schematic representation of electrodeposition cell.

All the coatings were fabricated using the DC electrodeposition method with a deposition time of 180 min at 60 °C. The electrolyte pH was maintained at 6, 7 and 8, which was adjusted by adding sulphuric acid or sodium hydroxide when necessary. As shown in Figure 1, the electrodeposition experiments were carried out in a beaker. The bath was stirred and heated by a magnetic stirrer.

Table 1. Plating bath compositions and operational parameters.

| Factor | -1 | 0 | 1 |
|---|-------|---|-------|
| (X1) Electrolyte pH | 6 | 7 | 8 |
| (X2) Current Density (A/cm ²) | 5 | 7.5 | 10 |
| Constant Parameters | | | |
| Plating temperature : | 60 °C | C ₆ H ₈ O ₇ : | 7g/L |
| CoSO ₄ .6H ₂ O | 60g/L | Na ₃ C ₆ H ₅ O ₇ .2H ₂ O(M): | 15g/L |
| Na ₂ WO ₄ | 15g/L | H ₃ BO ₃ : | 40g/L |

The microstructure of the samples was characterized by field emission gun scanning electron microscopy (FE-SEM, Tescan Mira3 XMU, Czech Republic), following phase constituent analysis using (XRD, Bruker AXS D8 Advance, Germany). The chemical composition of the coatings was characterized by X-ray fluorescence (XRF, Niton XL3T, USA). The microhardness of the coatings was measured by the Vickers hardness (Shimadzu MHV tester) method, and the mean of at least five readings was taken.

3. Results and Discussion

3.1. Design of Experiments

The experimental studies in this research were carried out using a Central Composite Design (CCD), which is a widely used form of Response Surface Methodology (RSM). Factors and levels that are used in CCD are presented in Table 1. CCD experiment results and the predicted values were given in Table 2. The predicted results obtained via mathematical models and experiments were consistent with each other. Equations were given in Table 3 and 4, where R_w and R_m are the tungsten composition and microhardness value of the coating, respectively. The analysis of variance (ANOVA) and the F-test were used to estimate the model's significance. The ANOVA of the regression models, shown in Tables 3 and 4, shows that the models are highly significant, as evidenced by the derived F-values for tungsten composition and microhardness value, which are 93.98 and 18.47, respectively. It was revealed that the models employed to fit the response variables were significant and appropriate in terms of expressing the relationship between the response and independent variables, according to the results. [17]. The response surface graphs that define tungsten composition and microhardness of the coating with the data obtained from mathematical models were given in Figure 2.

Table 2. Design of experiments, experimental and predicted results.

| Run | pH | Experimental Results | | | Predicted Results | |
|-----|----|--------------------------------------|--------------------------|--------------------|--------------------------|--------------------|
| | | Current Density (A/dm ²) | Tungsten Composition (%) | Microhardness (Hv) | Tungsten Composition (%) | Microhardness (Hv) |
| 1 | 6 | 5 | 15 | 570 | 14.67 | 550.28 |
| 2 | 8 | 7.5 | 42 | 354 | 43.00 | 270.11 |
| 3 | 6 | 7.5 | 11 | 530 | 11.67 | 528.78 |

| | | | | | | |
|---|---|-----|----|-----|-------|--------|
| 4 | 8 | 5 | 45 | 245 | 44.50 | 291.61 |
| 5 | 7 | 7.5 | 40 | 320 | 38.33 | 399.44 |
| 6 | 8 | 10 | 46 | 235 | 45.50 | 248.61 |
| 7 | 6 | 10 | 13 | 510 | 12.67 | 507.28 |
| 8 | 7 | 10 | 45 | 386 | 45.83 | 377.94 |
| 9 | 7 | 5 | 34 | 445 | 34.83 | 420.94 |

Table 2. Continue

Table 3. ANOVA table of R_w (Tungsten composition of the coating)

| Source | Sum of Squares | df | Mean Square | F-Value | p-value Prob > F |
|-------------------|----------------|----|-------------|----------|------------------|
| Model | 1785.667 | 6 | 297.6111 | 93.98246 | 0.0106 |
| A-Ph | 1472.667 | 1 | 1472.667 | 465.0526 | 0.0021 |
| B-Current Density | 60.5 | 1 | 60.5 | 19.10526 | 0.0486 |
| AB | 2.25 | 1 | 2.25 | 0.710526 | 0.4880 |
| A ² | 242 | 1 | 242 | 76.42105 | 0.0128 |
| B ² | 8 | 1 | 8 | 2.526316 | 0.2529 |
| A ² B | 44.08333 | 1 | 44.08333 | 13.92105 | 0.0649 |
| Residual | 6.333333 | 2 | 3.166667 | | |
| Cor Total | 1792 | 8 | | | |

$$R^2=0.996 \quad R^2_{adj}=0.985$$

$$R_w (\%) = 38.33 + 15.67 * A + 5.50 * B + 0.75 * A * B - 11.00 * A^2 + 2.00 * B^2 - 5.75 * A^2 * B$$

Table 4. ANOVA Table of R_m (Microhardness value of the coating)

| Source | Sum of Squares | df | Mean Square | F-Value | p-value Prob > F |
|--------------------|----------------|----|-------------|----------|------------------|
| Model | 103136.2 | 2 | 51568.08 | 18.47429 | 0.0027 |
| A-Ph | 100362.7 | 1 | 100362.7 | 35.95498 | 0.0010 |
| B- Current Density | 2773.5 | 1 | 2773.5 | 0.993608 | 0.3573 |
| Residual | 16748.06 | 6 | 2791.343 | | |
| Cor Total | 119884.2 | 8 | | | |

$$R^2=0.861 \quad R^2_{adj}=0.813$$

$$R_m (Hv) = +399.44 - 129.33 * A - 21.50 * B$$

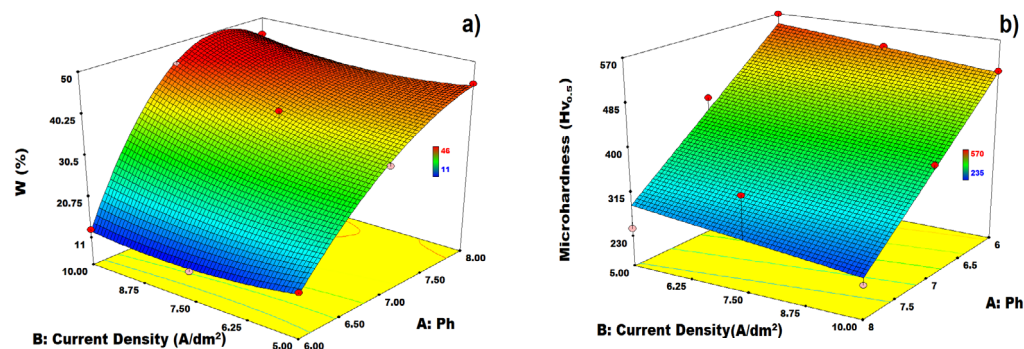


Figure 2. Response surface graphs obtained from the mathematical models a) Tungsten composition of the coating, b) Microhardness of the coating.

Figure. 2a and 2b show the effect of current density and pH on the composition of tungsten and microhardness value of the coating, respectively. As seen in the response surface plots, the pH value of the solution is the dominant factor for the electrodeposition of Co-W alloy.

The tungsten content of the deposit increases linearly with increasing pH of the electrolyte at acidic conditions, but the increment decreases slightly after the 7.5 pH value. Similar findings have been reported in the literature [18]. Tungsten reduction occurs more efficiently in the pH range due to the enhanced adsorption of electroreduced W containing complexes, increasing the tungsten content of Co-W alloys. [13].

The hardness of the Co-W alloy electrodeposit is determined by many factors such as composition, structure, and morphology. For the studied experimental condition, the tungsten content and microhardness value of the deposit slightly depend on the current density since the effect of the pH is dominant. It can be seen that the microhardness value of the coating was significantly enhanced at low current densities when examining Table 2. It is observed that the microhardness of the electrodeposit decreases linearly with decreasing pH. A possible explanation for this trend is that the electrodeposit contains tungsten in high concentrations. Similar studies were reported that with the increment of tungsten composition to a particular value, the microhardness value decreases dramatically [19]. In our study, when the tungsten level of the coatings exceeds 35%, the microhardness value declines significantly.

3.1. Surface and XRD Characterization

The SEM images of the alloy electrodeposit surface were presented in Figure 3. The tungsten composition of the electrodeposit can be altered over a broad range (11-46%) by simply adjusting the pH. Coatings deposited at pH 8 contain greater than 35% W, a bright, mirror-like coating with a metallic appearance rather than a gray appearance. An increase in current density at pH 6, leads to a transition towards more regular and elongated features on the morphology. On the other hand, with the increase of pH 7 to 8 the structure becomes more compact and consists of nodular-shaped grains. In addition, nodular grain size decreases with the increase of current density at pH 8. The rise in current density encourages cathodic depolarization, which in turn promotes the production of nuclei. This further reduces the size of the aggregate grains. Typical changes in the diffraction patterns of the amorphous and nanocrystalline Co-W coatings with different W content are shown in Figure 4. The XRD spectrums show that the crystallographic structure is changing from nanocrystalline to amorphous as the amount of the W increases. A broad peak was observed in the proximity of $2\theta = 44.4^\circ$. This peak broadening can be ascribed to the small crystallite size of the alloy that contains over 40% tungsten composition. [20]. Meanwhile, nanocrystalline peaks on the XRD pattern for the Run 6 experiment (Figure 4) suggest the incorporated Co(W) crystals in the amorphous matrix, which is consistent with the literature [21].

XRD patterns of Co-W alloys are illustrated in Figure 4. The nanocrystalline coating showed four peaks at 2θ values of 41.6, 44.7, 47.5, and 75.9. These peaks are related to hcp Co (JCPDS 05-0727). However, peak positions of hcp Co shifted to a lower 2θ value in Figure 4, which confirms the incorporation of tungsten cobalt crystal lattice [22]. From the XRD diagram in Figure 4, it is clear that current density affected their crystallographic orientation. With increasing current density, the reflection corresponding to Co (002) is disappeared, and sharp Co (100) reflection is observed.

In order to estimate the crystallite size Debye Scherrer equation was used. As seen in Figure 4. Run 6 consists of nanocrystalline (62° and 76°) and amorphous peaks (44°). Calculations made by taking into account the (102) and (110) peaks, the crystallite size was calculated as 16 nm for Run 6 experiment. While ignoring these peaks, the crystallite size of the amorphous structure was calculated as 1.7 nm. The relations between crystallite size and microhardness can be clarified with the Hall-Petch relationship [16]. For example, electrodeposited coatings with crystallite sizes 30 and 38 nm (Run 1 and Run 7) properly obeys the Hall-Petch equation and microhardness increases with the decrease of crystallite size.

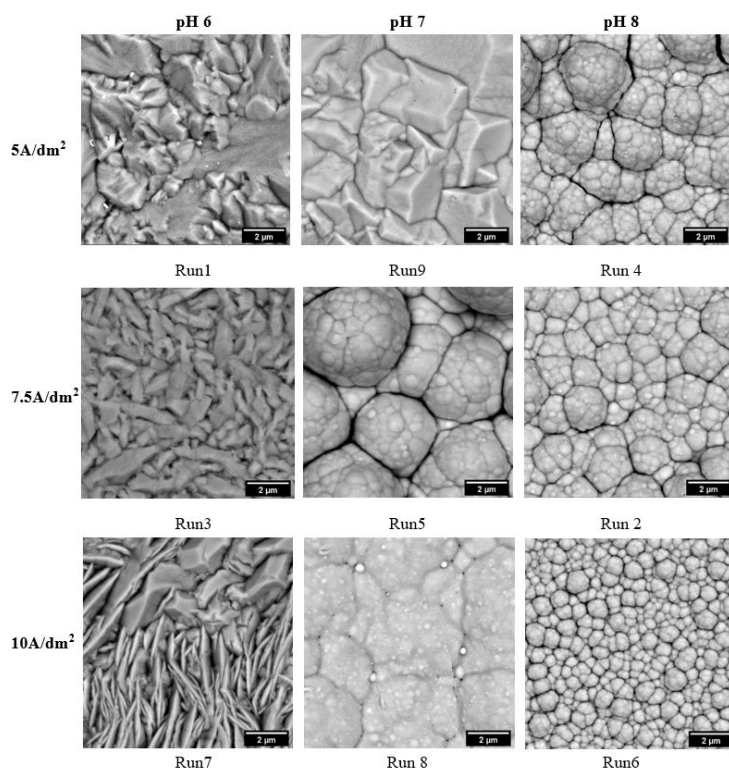


Figure 3. SEM images of Co-W alloys electrodeposited with various parameters.

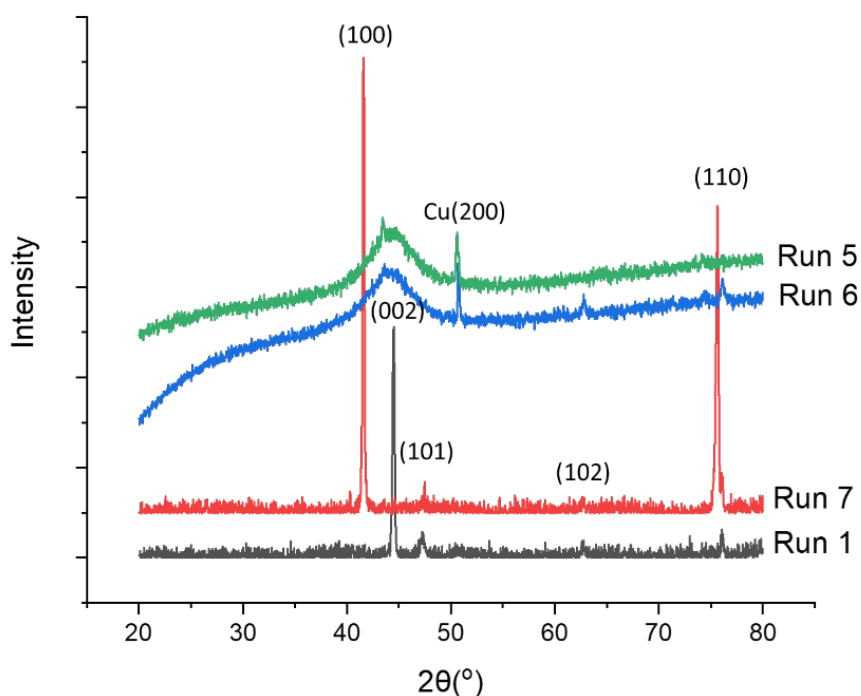


Figure 4. X-ray diffraction pattern of Run1, Run7, Run5 and Run6 samples.

Nanocrystalline coatings had a higher microhardness value despite the higher tungsten content in amorphous coating. Amorphous coatings with crystallite sizes 1.7 and 1.9 nm did not follow Hall-Petch, *ADYU Mühendislik Bilimleri Dergisi* 16 (2022) 69-77

and microhardness value was declined with the decrease of crystallite size [23]. Similar behaviours about microhardness value that depend on the crystallite size were reported by other researchers who worked with iron group metal-tungsten alloys [7, 24, 25]. They reported that incorporation of W in Co up to ~20 wt-% causes a significant increase in the microhardness value. However, the larger incorporation of W decreases the microhardness value. The softening effect related to grain size reduction may be attributed to an increase in intercrystalline volume fraction, particularly the percentage associated with the triple junction. The deformation of the grain boundary volume considerably contributes to the overall deformation in such a microstructure. The grain boundaries of fine-grained material were thicker than those of coarse-grained material when the grain size was less than 10 nm. A critical Hall-Petch breakdown crystallite size of 12-15 nm for Ni-W electrodeposits was also reported by Wasekar et al. [26]. The interface region of the nanocrystallites having a structure of non-periodic atomic array expanded into the centre region [27]. Thus, the incorporation of tungsten over 35% adversely affected the microhardness for the reasons stated above.

Table 5. Microhardness value and Crystallite size calculations based on Debye Scherrer equation.

| Tungsten Composition (%) | Crystallite size (nm) | Microhardness (HV) |
|-----------------------------|--------------------------|-----------------------|
| 13 | 30 | 570 |
| 15 | 38 | 510 |
| 40 | 1.9 | 320 |
| 46 | 1.7 | 235 |

4. Conclusion

In summary, based on the results of this study showed that the tungsten composition of the electrodeposit affects the microhardness and morphology of the coating. With the increment of the tungsten content of more than %35, amorphous behaviour was observed, and electrodeposit microhardness was decreased. Response surface methodology was used to construct a model that defines the microhardness value and tungsten composition of the electrodeposit. Predicted results calculated by models were in good accordance with experimental results. In other words, these results indicate that the constructed statistical models could effectively predict the tungsten composition and microhardness value of the coating.

Acknowledgements

(“This work is supported by the Scientific Research Project Fund of Sivas Cumhuriyet University under the project number M-788”)

References

- [1] Su YH, Kuo TC, Lee WH et al. Effect of tungsten incorporation in cobalt tungsten alloys as seedless diffusion barrier materials. *Microelectronic Engineering* 2017; 171: 25–30.
- [2] Fu T, Cui K, Zhang Y et al. Oxidation protection of tungsten alloys for nuclear fusion applications: A comprehensive review. *J Alloys Compd* 2021; 884: 161057.
- [3] Belevskii SS, Gotelyak A V, Yushchenko SP, Dikusar AI. Electrodeposition of Nanocrystalline Fe – W Coatings from a Citrate Bath. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry* 2019;

- 55: 119–129.
- [4] Costa JM, Porto MB, Amancio RJ, de Almeida Neto AF. Effects of tungsten and cobalt concentration on microstructure and anticorrosive property of cobalt-tungsten alloys. *Surfaces and Interfaces* 2020; 20.
- [5] Wei GY, Lou JW, Ge HL et al. Co-W films prepared from electroplating baths with different complexing agents. *Surface Engineering* 2012; 28: 412–417.
- [6] Vernickaite E, Tsyntaru N, Sobczak K, Cesiulis H. Electrodeposited tungsten-rich Ni-W, Co-W and Fe-W cathodes for efficient hydrogen evolution in alkaline medium. *Electrochimica Acta* 2019; 318: 597–606.
- [7] Fathollahzade N, Raeissi K. Electrochemical evaluation of corrosion and tribocorrosion behaviour of amorphous and nanocrystalline cobalt-tungsten electrodeposited coatings. *Materials Chemistry Physics* 2014; 148: 67–76.
- [8] Dadvand N, Jarjoura G, Kipouros GJ. Electrodeposition of cobalt-tungsten alloys from alkaline citrate containing bath as alternative for chromium hexavalent replacement. *Canadian Metallurgical Quarterly* 2013; 52: 391–397.
- [9] Vernickaite E, Cesiulis H, Tsyntaru N. Evaluation of corrosion and tribological behavior of electrodeposited tungsten alloys. *Proc 9th Int Sci Conf BALTTTRIB 2017 - Dedic to 100th Anniv Restit Lith* 2018; 207–214.
- [10] Belevskii SS, Bobanova JI, Buravets VA et al. The influence of gluconate bath parameters on the rate of electrodeposition and mechanical properties of Co–W coatings. *Proc 9th Int Sci Conf BALTTTRIB 2017 - Dedic to 100th Anniv Restit Lith* 2018; 7–12.
- [11] Weston DP, Harris SJ, Capel H et al. Nanostructured Co-W coatings produced by electrodeposition to replace hard Cr on aerospace components. *The International Journal of Surface Engineering and Coatings* 2010; 88: 47–56.
- [12] Frank AC, Sumodjo PTA. Electrodeposition of cobalt from citrate containing baths. *Electrochim Acta* 2014; 132: 75–82.
- [13] Tsyntaru N, Cesiulis H, Budreika A et al. The effect of electrodeposition conditions and post-annealing on nanostructure of Co-W coatings. *Surface Coatings Technology* 2012; 206: 4262–4269.
- [14] Bodaghi A, Hosseini J. Corrosion behavior of electrodeposited cobalt-tungsten alloy coatings in NaCl aqueous solution. *International Journal of Electrochemical Science* 2012; 7: 2584–2595.
- [15] Frank AC, Sumodjo PTA. Electrodeposition of cobalt from citrate containing baths. *Electrochimica Acta* 2014; 132: 75–82.
- [16] Tsyntaru N, Cesiulis H, Donten M et al. Modern trends in tungsten alloys electrodeposition with iron group metals. *Surface Engineering Applied Electrochemistry* 2012; 48: 491–520.
- [17] Oskay KO, Demirel B. Research Article Optimizing the composition of electroplated composite coating NiCrAl. *Acta Physica Polonica A* 2018; 36: 801–808.
- [18] Ma L, Xi X, Nie Z, Dong T, Mao Y. Electrodeposition and characterization of Co-W Alloy from regenerated Tungsten salt. *Int J Electrochem Sci* 2017; 12: 1034–1051.
- [19] Costa JD, de Sousa MB, Alves JJN et al. Effect of electrochemical bath composition on the preparation of Ni-W-Fe-P amorphous alloy. *International Journal of Electrochemical Science* 2018; 13: 2969–2985.
- [20] Vernickaite E, Tsyntaru N, Cesiulis H. Electrodeposited Co-W alloys and their prospects as effective anode for methanol oxidation in acidic media. *Surface Coatings Technology* 2016; 307: 1322–1328.
- [21] Nicolenco A, Tsyntaru N, Fornell J et al. Mapping of magnetic and mechanical properties of Fe-W alloys electrodeposited from Fe(III)-based glycolate-citrate bath. *Mater Des* 2018; 139: 429–438.
- [22] Vernickaite E, Tsyntaru N, Cesiulis H. Electrodeposition and corrosion behaviour of nanostructured cobalt–tungsten alloys coatings. *Trans Inst Met Finish* 2016; 94: 313–321.
- [23] Rupert TJ, Schuh CA. Sliding wear of nanocrystalline Ni-W: Structural evolution and the apparent breakdown of Archard scaling. *Acta Material* 2010; 58: 4137–4148.
- [24] Sriraman KR, Ganesh Sundara Raman S, Seshadri SK. Corrosion behaviour of

- electrodeposited nanocrystalline Ni-W and Ni-Fe-W alloys. *Materials Science Engineering A* 2007; 460–461: 39–45.
- [25] Atanassov N, Gencheva K, Bratoeva M. Properties of Nickel-Tungsten Alloys Electrodeposited from Sulfamate Electrolyte. *Plat Surf Finish* 1997; 84: 67–71.
- [26] Wasekar NP, Hebalkar N, Jyothirmayi A Influence of pulse parameters on the mechanical properties and electrochemical corrosion behavior of electrodeposited Ni-W alloy coatings with high tungsten content. *Corrosion Science* 2020; 165: 108409.
- [27] Sriraman KR, Sundara Raman SG, Seshadri SK. Synthesis and evaluation of hardness and sliding wear resistance of electrodeposited nanocrystalline Ni-W alloys. *Materials Science Engineering A* 2006; 418: 303–311.

BURULMAYA MARUZ FARKLI TİPTEKİ BORU BİNDİRME BAĞLANTILARININ MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Cüneyt YETKİN¹, Şerif ÇİTİL^{2*}

¹Devlet Su İşleri 203. Şube Müdürlüğü, Adiyaman, 02040, Türkiye

²Adiyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Adiyaman, 02040, Türkiye

Geliş Tarihi/Received Date: 09.11.2021 Kabul Tarihi/Accepted Date: 28.01.2022 DOI: 10.54365/adyumbd.1021012

ÖZET

Bu çalışmada bindirme bölgesi geometrisi düz, açılı (scarf) ve eğrisel şeklinde tasarlanan, akrilik yapısal yapıştırıcı ile birleştirilmiş, çelik boru bağlantılarının, burulma yükü altındaki mekanik özellikleri incelenmiştir. Bunun için dış çapı (ØD) 21.3 mm, iç çapı (Ød) 15.9 mm, St-37 galvanizli çelik borular üzerine, erkek ve dişi şeklinde 10 mm bindirme uzunluğunda düz, açılı (scarf) ve eğrisel bindirme bağlantıları oluşturularak modellenmiştir. Doğrulama deneyleri için 10 mm bindirme uzunluğunda 30 mm eğrilik yarı çapında, eğrisel bindirme bağlantıları imal edilerek gerçekleştirilmiştir. Erkek ve dişi şeklinde hazırlanan numuneler, nemli ortama dayanıklı, oda sıcaklığında kürlleşebilen akrilik esaslı DP810 yapısal yapıştırıcı kullanılarak birleştirilmiştir. Oluşturulan modellerin nümerik analizleri ANSYS Workbench programında yapılmıştır. Nümerik ve deneysel sonuçlar göstermiştir ki, numuneler lineerleştikçe yapıştırıcının uygulanmış olduğu yüzey alanı azalmış fakat taşımış oldukları burulma hasar yükünün arttığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Boru; Burulma; Eğrisel yüzeyli bağlantı; Nümerik analiz; Yapısal yapıştırıcı.

INVESTIGATION OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF DIFFERENT TYPES OF PIPE LAPPING CONNECTIONS SUBJECT TO TORSION

ABSTRACT

In this study, the mechanical properties of steel pipe connections under torsional load, whose lap geometry was designed as straight, angled (scarf) and curvilinear, joined with acrylic structural adhesive, were investigated. For this purpose, straight, angled (scarf) and curvilinear overlap connections were formed on St-37 galvanized steel pipes with an outer diameter (ØD) of 21.3 mm, an internal diameter (Ød) of 15.9 mm, with a 10 mm overlap length in the form of male and female. For the verification experiments, curvilinear lap joints were fabricated at 10 mm lap length and 30 mm radius of curvature. The specimens prepared as male and female were joined using an acrylic-based DP810 structural adhesive, which was resistant to humid environments and can be cured at room temperature. Numerical analyzes of the created models were made in the ANSYS Workbench program. Numerical and experimental results showed that as the samples became linear, the surface area on which the adhesive was applied decreased, but the torsional damage load they carried increased.

Keywords: Pipes; Torsion; Curvilinear surface lap joints; Numerical analysis; Structural adhesives;

1. Giriş

Malzemelerin birleştirme yöntemleri endüstride önemli bir yer tutmaktadır. Özellikleri aynı veya farklı türden malzemelerin birleştirilmesinde, yüksek mukavemet, hafiflik, zaman kaybı ve daha az maliyet önem arz etmekte olup birleştirme tekniklerinin her geçen gün önemi daha da artmaktadır. Geleneksel sökülebilir ve sökülemez birleştirme türleri olan kaynak, perçin, cıvata ve sıkı geçme gibi birleştirme yöntemleri geçmişten günümüze kullanılmaktadır. Kullanılan bu geleneksel birleştirme

¹ e-posta: cuneytyetkin@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7117-8485> (Sorumlu Yazar)

² e-posta: scitil@adiyaman.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3714-3772>

yöntemlerine ek olarak son yıllarda sanayide kullanım yaygınlığı artan yapıştırıcılar kullanılmaya başlanmıştır. Yapıştırıcı teknolojisinin gelişmesi ile birlikte sanayi malzemelerinden özellikle metal ve kompozit malzemelerin birleştirilmesinde yaygınlığı dahada artmıştır.

Yapıştırıcılar günümüzde uzay, havacılık, otomotiv, tıp, altyapı sistemi, elektronik, paketleme, gemicilik, spor ve inşaat gibi birçok endüstri alanında kullanılmaktadır. Gemi, inşaat, uçak ve makina mühendisliği gibi pek çok mühendislik dalında kullanımı, endüstrinin ilk yıllarına dayanır. Teknolojinin gelişmesi ile enerji ihtiyacı artmış ve nitelikli enerji türlerinin doğada azalmasıyla, teknolojide mümkün olan en az enerji kullanımına cevap olabilecek seçimler artmıştır [1]. Küresel rekabet havacılık, uzay ve otomobil üreticilerini karbon emisyonunu azaltmaya yakıt ekonomisini iyileştirmeye ve daha az yakıt sarfiyatına zorlamaktadır. Bunun için havacılık, uzay ve otomobil üreticileri daha az yakıt sarfiyatı için aracın ağırlığını azaltacak araç tasarımına ve malzeme seçimine gitmektedirler. Araç ağırlığını azaltmak için daha düşük yoğunluklu yüksek mukavemetli malzemelerin kullanımı ile ilgili çalışmalar artarken bu malzemelerin birleştirilmesi ile ilgili de çalışmalar yapılmaktadır [2].

Günümüz endüstride zaman, malzeme, maliyet, iş kayıpları büyük önem taşımaktadır. Bu amaçla zaman, malzeme, maliyet, iş kayıpları azaltmak için birçok çalışmalar yapılmış ve yapılmaya devam edilmektedir [3]. Geleneksel birleştirme yöntemleri zaman, maliyet ve iş gücü gerektirmekte ve ciddi manada zaman ve maliyet kayıplarına sebep olmaktadır. Geleneksel birleştirme yöntemlerinin zaman, maliyet kayıplarının önüne geçilmesi için özellikleri endüstrinin birçok alanında, kullanım kolaylığı, daha düşük maliyet ve daha az işçilik gibi özelliklerinden dolayı yapıştırma bağlantılarına yönlendirmekte ve yapıştırma bağlantılarının mukavet etkisi üzerinde çalışmalar yapılmaktadır [4-10].

Endüstride güç ve hareket aktarma elemanı olan miller (şaft), kaynak ya da flanş aracılığıyla birbirlerine bağlanmak suretiyle çalışmaktadırlar. Güç ve hareket aktaran miller özellikle çalışma esnasında burulma momentine maruz kalmaktadır. Kaynakla birleştirme işleminde kaynaklı parçaların ani soğuması sonucunda artık gerilmelerin oluşmasına sebebiyet vermektedir [11]. Oluşan bu artık gerilmeler burulma momentinin etkisiyle beklenmedik anlarda parçanın hasar görmesine neden olmaktadır. Flanşla birleştirme işlemi ise ciddi manada işçilik zaman ve maliyeti gerekli kılmaktadır. Bu iki durum istenmeyen durumdur. Burulma momentine maruz millerde bu istenmeyen durumlar için kaynak ve flanşla birleştirmeye alternatif olarak yapıştırma bağlantılarını araştırılması önem arz etmektedir. Silindirik yapıştırma bağlantılarıyla ilgili yapılan çalışmalarda ise genellikle bağlantıların çekme yükü altındaki performansları araştırılmıştır [12]. Burulma momentine maruz millerle ilgili yapılan çalışmalar oldukça kısıtlıdır. Konuyla ilgili olarak, Saraç [12] yapmış olduğu çalışmada yapıştırıcıyla birleştirilmiş mil-göbek bağlantı modeli önermiş bu yapıştırma bağlantısının göbek kenarlarında yapılan tasarım değişikliklerinin bağlantı performansına etkileri, yapılan gerilme ve hasar analizleriyle araştırmıştır. Zou ve Taheri [13], burulma momentine maruz yapıştırıcıyla birleştirilmiş düz boru bindirme bağlantılarında, boru cidar kalınlığı, boru malzemesi ve yapıştırıcı tiplerinin etkilerini incelemiştir. Bunun için analitik bir model oluşturmuş ve oluşturulan modelde, yapıştırıcı tipine, bindirme uzunluğuna ve cidar kalınlığına bağlı olarak yapıştırıcı bölgesinde oluşan gerilme analizlerini yapmıştır. Taş [14] üç farklı yapıştırıcı kullanarak mil üzerinde konik geçme bağlantıları oluşturmuş ve burulma momenti maruz bırakmış ve yapıştırıcı uygulanmış konik bağlantıları ile yapıştırıcı uygulanmamış konik geçme bağlantılarıyla karşılaştırmasını yaparak mukavemet üzerindeki etkilerini nümerik olarak incelemiştir. Yapmış olduğu inceleme sonucunda yapıştırıcı uygulanmış konik bindirme bağlantılarında gerilme değerlerinin daha düşük olduğunu tespit etmiştir. Aimmanee ve Hongpimolmas [15], burulma momentine maruz boru bindirme bağlantıları için, farklı sertlikteki kompozit bağlantı elemanlarıyla boruları yapıştırıcı ile birleştirilmişler ve matematiksel bir model formüle etmişlerdir. Yapmış oldukları matematiksel modelin ideal bağlantı şartları için kullanılabileceğini ifade etmişlerdir.

Dünyada sıvı, gaz ve sıvı içinde konsantre katı maddelerin bir yerden başka bir yere taşınmasında boru hatlarıyla gerçekleşmektedir. Boru hatlarının sık kullanılmasının sebebi ekonomik olması ve uzak mesafelere taşıma yapılabilmesidir [16]. Boru hatlarının yapımı esnasında kullanılan birleştirme yöntemleri metal borular için genellikle üç şekilde gerçekleşmektedir. Vidalı sistem, kaynak teknolojisi veya birbirine sıkı geçmeli olarak montajlanmaktadır. Vidalı sistem işçilik, zaman ve maliyet içermekte, kaynakla birleştirmede artık gerilmeler oluşmakta, sıkı geçmede ise sıcaklık ve basınç değişimleri sonucunda birbirinden ayrılabilir. Ayrıca yapılan bu boru hatları genellikle toprak altında kalmaktadır. Toprak altında kalan borular üzerine yük binmesi durumunda çeşitli yüklere ve burulma momentine maruz kalabilmektedir. Bu olumsuz durumlar için yapıştırıcı ile birleştirilmiş boru bindirme

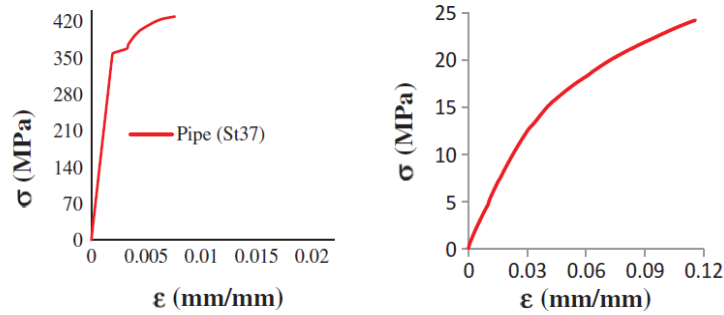
bağlantıları bir alternatif teşkil edecektir. Bunun için yapıştırıcıyla birleştirilmiş boru bindirme bağlantılarının araştırılması büyük önem arz etmektedir.

Bu çalışmada akrilik yapıştırıcı (DP810) ile birleştirilmiş paslanmaz çelik boru bağlantısı için düz, açılı (scarf) ve eğrisel olmak üzere üç farklı model oluşturulmuştur. Oluşturulan modeller burulma momentine maruz bırakılarak mekanik özellikleri incelenmiştir. Yapılan çalışmada nümerik verilerin elde edilmesi için Ansys Workbench (2015) paket programı kullanılmıştır. Elde edilen nümerik verilerin doğrulanması için doğrulama deneyleri yapılmıştır. Yapılan çalışma sonrasında elde edilen veriler göstermiştir ki; Aynı ve farklı bindirme uzunluğuna sahip, sırasıyla düz, açılmal ve eğrisel bindirme bağlantılarının taşımış oldukları hasar yüklerinin önemli ölçüde arttığı gözlenmiştir. Oluşturulan modellerde yapıştırıcının uygulandığı yüzey alanlarının azaldığı fakat taşımış oldukları hasar yükünde artış olduğu gözlenmiştir.

2. Materyal ve Metod

2.1. Numunelerin Hazırlanması

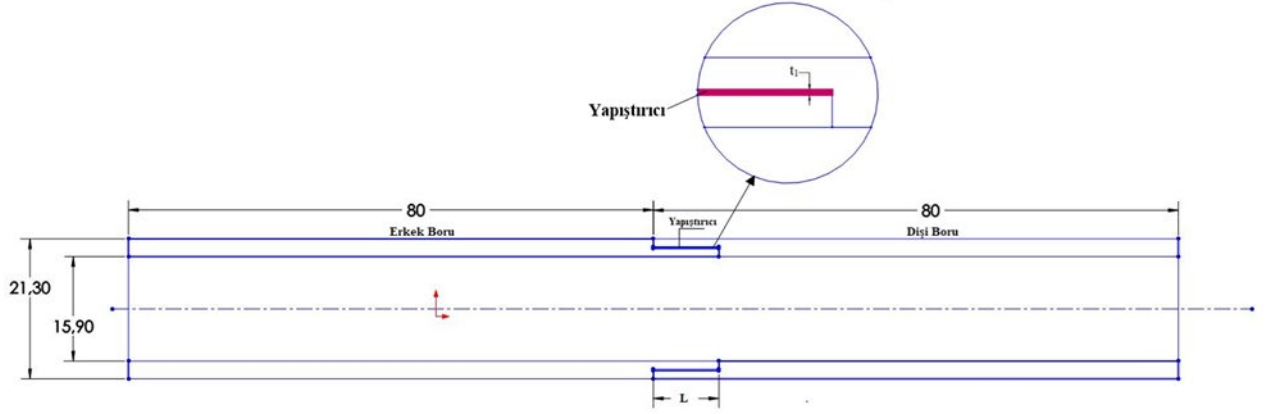
Bu çalışmada dış çapı (ØD) 21.3 mm, iç çapı (Ød) 15.9 mm St-37 galvanizli çelik borular kullanılmıştır. Çelik borular erkek ve dişi olarak (Şekil 2,3,4) bindirme uzunluğu 10 mm toplam boy 160 mm olacak şekilde eğrisel, düz ve scarf bindirme bağlantıları üretilmiştir. Malzeme yapısı nemden olumsuz etkilenebilmektedir [20-21]. Bu nedenle yapıştırıcı olarak nemli ortamlara dayanıklı, oda sıcaklığında kürlleşebilen 3M (Scotch-Weld) firmasının ürettiği akrilik esaslı DP810 yapısal yapıştırıcı kullanılmıştır. Kullanılan boru ve yapıştırıcının mekanik özellikleri Şekil 2 ve Çizelge 1’de verilmiştir [17-18].



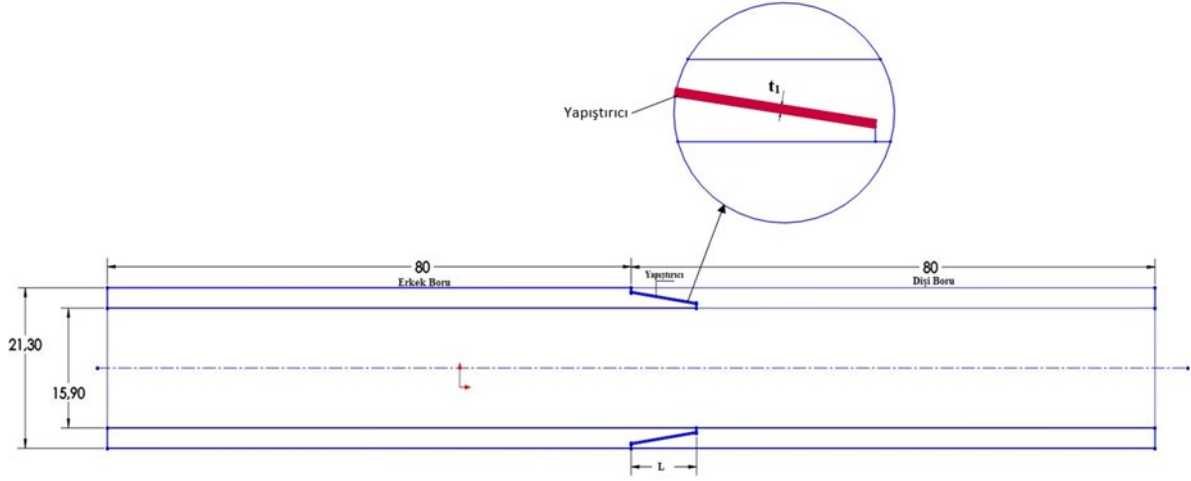
Şekil 1. DP810 ve St37 malzemesinin gerilme şekil değiştirme grafiği

Çizelge 1. Çelik (St37) ve Yapıştırıcı (DP810) fiziksel ve mekanik özellikleri.

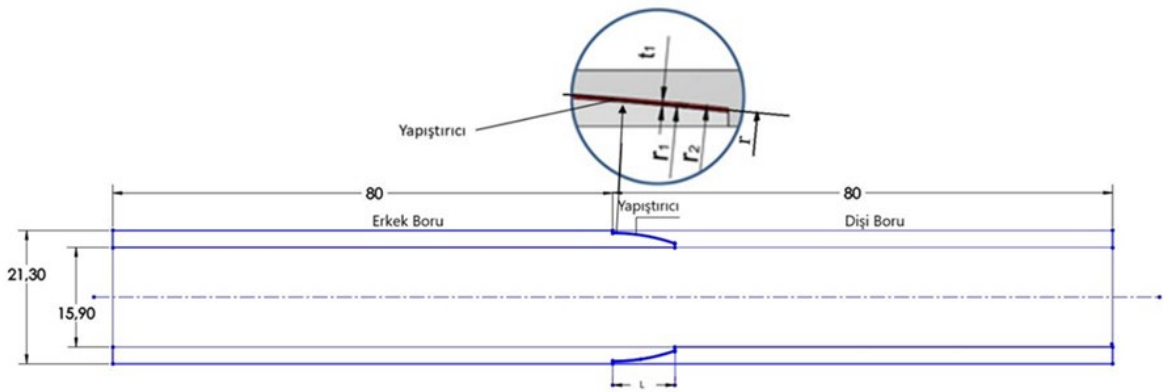
| Malzeme Özellikleri | Malzeme | |
|---------------------|--------------|---------------------|
| | Çelik (St37) | Yapıştırıcı (DP810) |
| E (Mpa) | 186450 | 594.8 |
| ν | 0.29 | 0.35 |
| σ (Mpa) | 428 | 24.24 |



Şekil 2. Burulmaya maruz düz boru bindirme bağlantısı kesiti



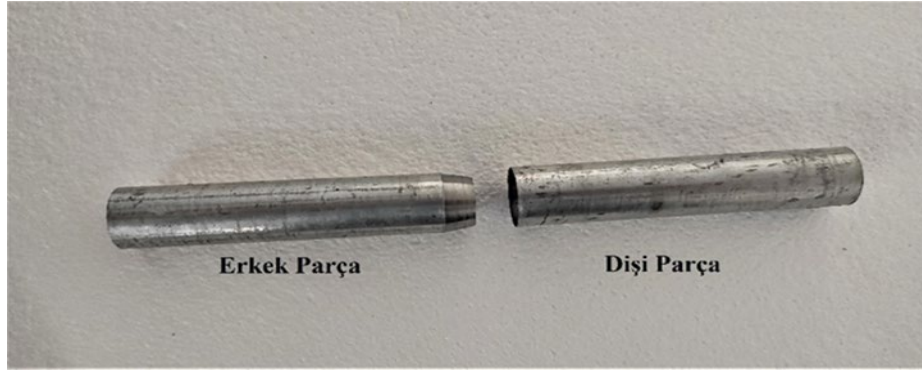
Şekil 3. Burulmaya maruz scarf boru bindirme bağlantısı kesiti



Şekil 4. Burulmaya maruz eğrisel boru bindirme bağlantısı kesiti

Boruların yapıştırıcı ile birleştirilen bölgesi bindirme uzunluğu (L) 10 mm olacak şekilde sırasıyla düz (Şekil 2), scarf (Şekil 3) ve eğrisel (Şekil 4), olarak modellenmiş ve yapıştırıcı kalınlığı (t_1) 0,2 mm olacak şekilde birleştirilmiştir. Yapıştırıcı kalınlığını sağlamak için $r=30$ mm yarı çapında eğrisel model için erkek boru $r_1=29,9$ mm çapında dişi boru ise $r_2=30,1$ mm çapında modellenmiş (Şekil

5) ve doğrulama deneylerinin yapılması için, bindirme uzunluğu 10 mm, eğrilik yarı çapı 30 mm model den numuneler CNC (Computer Numerik Control) tezgâhında hazırlanmıştır (Şekil 5).



Şekil 5. Eğrisel yüzeyli boru bağlantı parçaları

2.2. Burulma Deneyi

Hazırlanan numunelerin her iki ucuna test cihazına bağlantı yapılabilmesi için altıgen çelik çubuklar monte edilmiş ve cıvata ile bağlantısı yapılmıştır (Şekil 5, 6). Hazırlanan numuneler Shimadzu AG – X marka ve model burulma test cihazında doğrulama deneyleri yapılmıştır (Şekil 7).



Şekil 6. Test düzeneği için hazırlanan numuneler

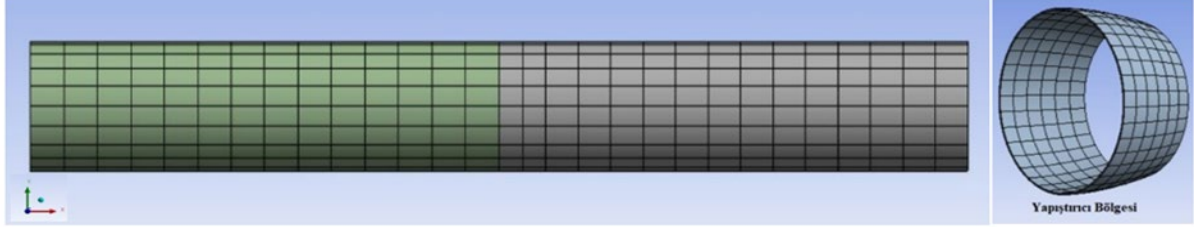


Şekil 7. Shimadzu AG – X marka burulma cihazı

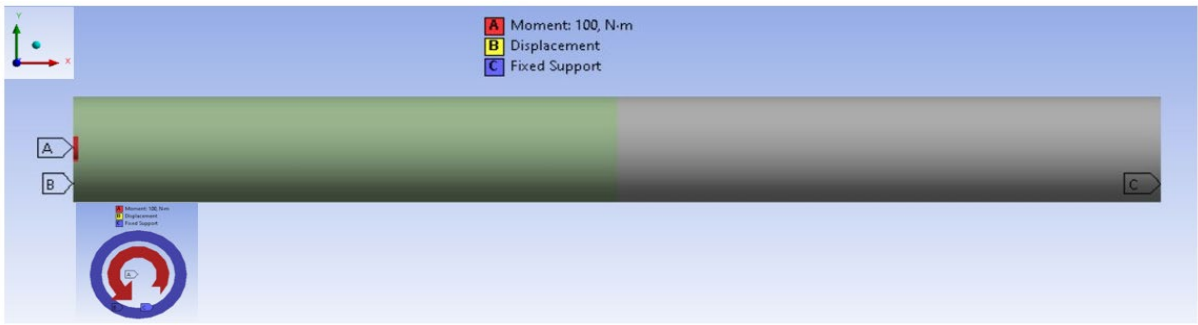
2.3. Nümerik Analizler

Nümerik analizler için Ansys Workbench 2015 paket programı kullanılmıştır [19]. Lineer olmayan sonlu eleman modeli için, Tablo 1’de mekanik özellikleri verilmiş olan galvanizli çelik boru (St37) ve yapıştırıcı (DP810) analizleri elasto-plastik olmak üzere üç boyutlu dikdörtgen prizmalı 20 düğüm noktasına sahip solid186 eleman kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Daha hasas sonuçlar elde

etmek için, gerilme dağılımları açısından kritik bölge olan yapıştırıcı bölgesi daha küçük elemanlara bölünmüştür (Şekil 8). Oluşturulan modeller deneysel şartlara göre sınır şartları oluşturularak analizleri yapılmıştır (Şekil 9). Elemanlara ayırma işlemi yapılan analizin doğruluğunu etkileyen önemli bir aşamadır. Elde edilen numuneler burulma yüküne maruz bırakılarak nümerik sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 8. Numunelerin ANSYS model örneği



Şekil 9. Sınır Şartları

Elde edilen sonuçlara göre yapıştırıcı bölgesinde gerilmeleri karşılaştırmak için en düşük yük olan 100 Nm sabit yükte burulmaya maruz bırakılarak gerilme değerlerinin karşılaştırılması yapılmıştır.

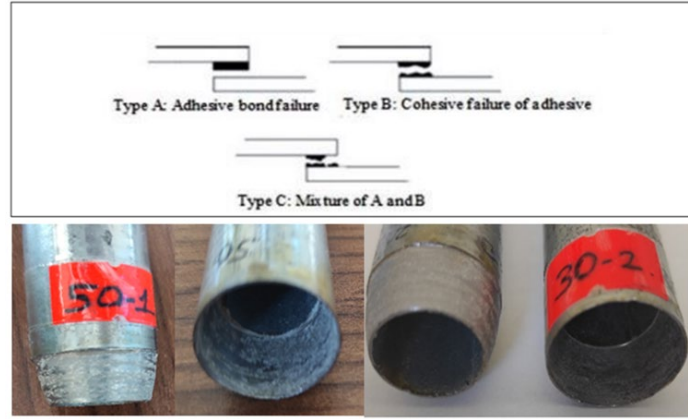
3. Bulgular, Tartışma ve Sonuçlar

3.1. Deney Sonuçları

Bindirme uzunluğu (L) 10 mm olan deney numuneleri 30 mm eğrisel yarıçaplar için burulma testine tabi tutulmuştur. Burulma deneyi sonuçlarında, yapıştırıcı bölgesinde ve yapıştırıcı ara yüzeyinde cohesive hasar şeklinde hasara maruz kalarak koptuğu gözlenmiştir (Şekil 10). Çelik boru yüzeyinde herhangi bir deformasyon gözlenmemiştir. Deneysel sonuçlar ile nümerik çözüm sonucu elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda nümerik sonuçların deneysel sonuçlarla ortalama olarak %84 uyumlu olduğu görülmüştür (Tablo 2).

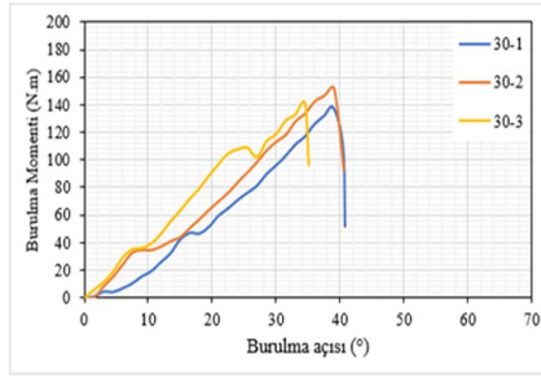
Tablo 2. Deneysel ve Nümerik sonuçların karşılaştırılması

| Eğrisel Yarıçap (r) mm | Bindirme Uzunluğu (L) mm | Deneysel Ortalama (N.m) | Nümerik Çözüm (N.m) | (%) (Nüm/Den) |
|---------------------------|-----------------------------|-------------------------|---------------------|---------------|
| 30 | 10 | 142,3 | 131,50 | 0,92 |



Şekil 10. Deney sonrası yapıştırıcı hasar yüzeyleri

Deney sonuçları, burulma açısına bağlı olarak maksimum burulma momenti değerleri elde edilmiş ve grafikler Şekil 11’de verilmiştir. Grafikler incelendiğinde, eğrisel bindirme bağlantısının ortalama 142,3 N.m burulma momentine ve 37° burulma açısına karşılık gelerek hasara uğradıkları gözlenmiştir (Şekil 11).



Şekil 11. Numunelerin deneysel sonuçları

3.2. Nümerik Sonuçlar

Bindirme uzunluğu 10 mm olan ve alın bölgesi düz, scarf ve eğrisel olan numunelerin katı modelleri oluşturularak Ansys Workbench programında analizleri yapılmıştır. Tüm numunelerin maksimum burulma moment değerleri Table 3’de verilmiştir.

Tablo 3. Maksimum burulma momenti değerleri

| Bağlantı tipi | Bindirme Uzunluğu (L) mm | Burulma Momenti (N.m) |
|---------------|--------------------------|-----------------------|
| Düz | 10 | 167,00 |
| Scarf | 10 | 158,00 |
| 30 | 10 | 131,50 |

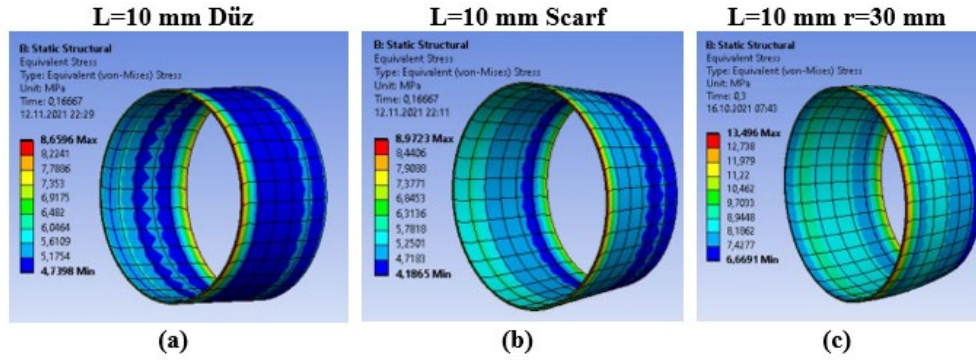
Tablo 3 incelendiği zaman numunelerin lineerliği arttıkça taşımış oldukları burulma moment değerlerinin arttığı görülmektedir. Maksimum burulma momentinin bağlantı tipi düz olan modelde olduğu gözlenmektedir. Üç boyutlu modeli oluşturulan numunelerin yapıştırıcı bölgesindeki gerilme analizi için tüm numunelere 100 N.m sabit bir burulma momenti uygulanarak eşdeğer gerilmeler (σ_{eqv}), maksimum kayma gerilmeleri (τ_{max}), kayma gerilmeleri (τ_{xy} , τ_{xz} , τ_{yz}) ve normal gerilmeler (σ_x , σ_y , σ_z) elde edilerek karşılaştırmaları yapılmıştır (Tablo 4).

Tablo 4: 100 N.m sabit yükte yapıştırıcı bölgesi gerilme analizi

| Bağlantı tipi | Bindirme Uzunluğu (L) mm | σ_{eqv} | τ_{max} | τ_{xy} | τ_{xz} | τ_{yz} | σ_x | σ_y | σ_z |
|---------------|--------------------------|----------------|--------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|
| | | | | | | | | | |
| Scarf | 10 | 8,97 | 5,37 | 5,13 | 5,13 | 5,51 | 0,04 | 4,65 | 4,65 |
| | 30 | 13,50 | 7,63 | 6,38 | 6,38 | 6,8 | 0,053 | 6,65 | 6,65 |

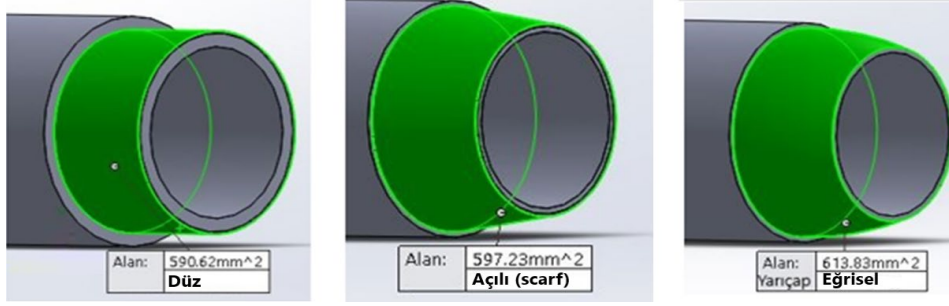
Bağlantı tipine bağlı olarak Tablo 4 incelendiğinde, tüm gerilme değerlerinin bağlantı tipi lineerleştikçe gerilme değerlerinin azaldığı gözlenmektedir. Buda gerilme değeri azaldıkça taşıdıkları burulma hasar yükünün artacağı anlamına gelmektedir.

Numunelerin bindirme uzunluğu boyunca gerilme dağılımlarının incelenmesi için görsel olarak eşdeğer gerilme sonuçları (σ_{eqv}) Şekil 12’de verilmiştir.



Şekil 12. Bindirme uzunluğu 10 mm için Eşdeğer gerilmeler (σ_{eqv})

Yapıştırıcı bölgesindeki eşdeğer gerilme sonuçları incelendiğinde maksimum eşdeğer gerilmenin eğrisel bindirme bağlantısında minimum gerilmenin ise düz bağlantı tipinde olduğu görülmektedir. Tüm bağlantı tiplerinde gerilme değerlerinin bindirme uzunluğunun uç bölgelerinde maksimum olduğu ve bindirme uzunluğunun orta bölgesine doğru ilerledikçe gerilme değerlerinin düştüğü görülmektedir. Burulmaya maruz düz, açılı ve eğrisel boru bindirme bağlantılarında hasarın uç bölgelerde başlayarak ilerlediği görülmektedir.



Şekil 13. Bağlantı tipine göre yüzey alanları

Yapıştırıcının uygulanmış olduğu yüzey alanı (Şekil 13) arttıkça genel olarak taşımış oldukları hasar yükünün artması beklenmektedir. Fakat burada tam tersi bir durum olmuştur. Yapılan çalışma sonrası görülmüştür ki geometrinin şeklinden kaynaklı olarak yarıçap azaldıkça yapıştırıcı uç bölgesinde daha fazla soyulma gerilmelerine maruz kaldığı anlaşılmaktadır.

3.3. Sonuçlar

Bu çalışmada burulmaya maruz boru bindirme bağlantılarının deneysel ve nümerik olarak araştırılması yapılmıştır. Bunun için üç tip model oluşturulmuş bağlantı tipine bağlı olarak mukavemet üzerinde etkileri araştırılmıştır. Sonuç olarak, deneysel ve nümerik sonuçlar göstermiştir ki;

Deneysel ve nümerik sonuçlar %84 uyumlu çıkmıştır. Bağlantı tipinin lineerliği arttıkça taşımış oldukları burulma hasar yüklerinin arttığı gözlenmiştir. Sırasıyla düz, açılı ve eğrisel bindirme bağlantılarında hasarın başlangıç bölgesi olan yapıştırıcının uç bölgelerinde meydana gelen gerilme değerlerinin arttığı gözlenmiş ve taşımış oldukları hasar yüklerinin azaldığı görülmüştür. Uygulandığı yüzey alanına bağlı olarak elde edilen sonuçlar göstermiştir ki, eğrisellikten düze doğru gidildikçe yapıştırıcının uygulanmış olduğu yüzey alanının azaldığı, taşımış oldukları burulma hasar yükünün arttığı gözlenmiştir. Yapıştırıcının uygulandığı yüzey alanının artması nedeniyle taşımış oldukları burulma hasar yükünün artması beklenirken tam tersi bir durum söz konusu olmuştur. Bu durum bağlantı tipinin linerlikten uzaklaştıkça veya geometri eğriselleştikçe daha kolay soyulma gerilmelerine maruz kaldıklarını göstermiştir.

Teşekkür

Bu çalışma; Adıyaman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi birimi tarafından MÜFMAP/2019-0009 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir kurum, kuruluş, kişi ile kişisel ve finansal çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedirler.

Kaynaklar

- [1] Çalık A. Yapıştırıcılar ve köşeleri yuvarlatılmış basamaklı bindirme yapıştırıcı bağlantılarda gerilme analizi. Yüksek Lisans Tezi. Zonguldak: Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü; 2008.
- [2] Özdemir Y. Nanoparçacık Katkılı Epoksi Esaslı Yapıştırıcıların Mekanik ve Termal Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Konya: Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü; 2018.

- [3] Çitil Ş. Ortası boş ve ara elemanlı çift takviyeli yapıştırma bağlantılarının mekanik özelliklerinin incelenmesi. Doktora tezi. Erzurum: Atatürk Üniversitesi; 2012.
- [4] Özel A, Aydın M, Temiz Ş. The effects of overlap length and adherend thickness on the strength of adhesively bonded joints subjected to bending moment. *Journal of adhesion science and technology* 2004;18(3):313-325.
- [5] Aydın MD, Aydın Ş, Temiz A. Özel. Yapısal yapıştırıcıların mekanik özelliklerinin belirlendiği deneysel yöntemler. *Mühendis ve Makina* 2004;45(536):18-24.
- [6] Aydın MD, Özel A, Ş. Temiz. Non-linear stress and failure analyses of adhesively-bonded joints subjected to a bending moment. *Journal of adhesion science and technology* 2004;18(14):1589-1602.
- [7] Temiz Ş. Application of bi-adhesive in double-strap joints subjected to bending moment. *Journal of adhesion science and technology* 2006;20(14):1547-1560.
- [8] Aydın MD, Temiz Ş, Özel A. Effect of curing pressure on the strength of adhesively bonded joints. *Journal of Adhesion* 2007;83(6):553-571.
- [9] Sülü İY, Temiz Ş, Aydın MD. Layer effects of multi-layered face to face adhesively bonded composite pipes subjected to internal pressure. *Academic Journal of Science* 2015;4(3):195-202.
- [10] Saraç İ, Aydın H, Temiz Ş. Experimental determination of the static and fatigue strength of the adhesive joints bonded by epoxy adhesive including different particles. *Composites Part B: Engineering* 2018;155:92-103.
- [11] Çitil Ş. Hasarlı boruların tamirinde yama malzemesinin yapıştırıcı üzerine etkilerinin incelenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 2017;23(4):422-426.
- [12] Saraç İ. Yapıştırıcı ile Birleştirilmiş Mil-Göbek Bağlantılarında Lineer-Elastik Gerilme Analizi ve Göbek Kenar Geometrisinin Dayanıma Etkisinin Araştırılması. *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi* 2020;7(3):994-1007.
- [13] Zou GP, Taheri F. Stress analysis of adhesively bonded sandwich pipe joints subjected to torsional loading. *International Journal of Solids and Structures* 2006;43(20):5953-5968.
- [14] Taş B. Yapıştırıcı ile birleştirilmiş konik geçmeli bağlantıların burulma momenti altındaki performansları. Yüksek Lisans Tezi. Elazığ: Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü; 2016.
- [15] Aimmanee S, Hongpimolmas P. Stress analysis of adhesive-bonded tubular-coupler joints with optimum variable-stiffness composite adherend under torsion. *Composite Structures* 2017;164:76-89.
- [16] Tuzcu Z. Farklı yapıştırıcılar ile tamir edilmiş hasarlı izotropik borularda yapıştırıcıların performanslarının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Adıyaman: Adıyaman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü; 2018.
- [17] Çitil Ş, Bozkurt İ, Aydın MD. Experimental and 3D non-linear stress analysis of adhesively bonded pipes with curved-surface lap joints. *The journal of adhesion* 2018;95(5-7):515-528.
- [18] Çitil Ş, Bozkurt İ. Eğrisel yüzeyli boru bağlantılarının mekanik özelliklerinin incelenmesi. *Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 2017;7:63-72.
- [19] ANSYS Workbench V15. Swanson Analysis Systems Inc. 2015.
- [20] Oğuz ZA, Erklığ A, Bozkurt ÖY. Effects of Hydrothermal Seawater Aging on the Mechanical Properties and Water Absorption of Glass/Aramid/Epoxy Hybrid Composites. *International Polymer Processing* 2021;36(1):79-93.
- [21] Oğuz ZA, Erklığ A, Bozkurt ÖY. Degradation of hybrid aramid/glass/epoxy composites hydrothermally aged in distilled water. *Journal of Composite Materials* 2021;55(15):2043-2060.

DIYABETİK RETİNOPATİ TESPİTİ İÇİN ATOM ARAMA OPTİMİZASYONU İLE ÖZELLİK SEÇİMİ YÖNTEMİ

Feyza ALTUNBEY ÖZBAY¹, Erdal ÖZBAY^{2*}

¹Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, Elazığ, 23119, Türkiye

²Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Elazığ, 23119, Türkiye

Geliş Tarihi/Received Date: 10.11.2021 Kabul Tarihi/Accepted Date: 08.02.2022 DOI: 10.54365/adyumbd.1021738

ÖZET

Diyabetik Retinopati (DR), dünya genelinde milyonlarca insanı etkileyen görme kaybı ve körlüğün başlıca nedenidir. DR tespiti için retinal fundus görüntülerini kullanan birçok farklı bilimsel ve tıbbi yaklaşımlar bulunmaktadır. Bu yaklaşımların çoğunda, özellik seçimi aşaması yapılmadan diyabetik retinopati veri kümelerine çeşitli makine öğrenimi ve derin öğrenme yaklaşımları uygulanmıştır. Çalışmada UCI makine öğrenmesi deposundan elde edilen DR veri kümesi kullanılmıştır. Bu makalede, atom dinamiklerinden faydalanılarak önerilmiş popülasyon temelli yeni bir metasezgisel yöntem olan Atom Arama Optimizasyon (AAO) algoritması, ilk kez DR veri kümesi için bir özellik seçim yöntemi olarak kullanılmıştır. Normalize edilen veri kümesine AAO algoritmasının uygulanmasının ardından elde edilen yeni veri kümesi Bagging, CvR, IBk, JRip, Kstar ve SimpleCart olmak üzere altı sınıflandırma algoritması ile test edilmiştir. Aynı sınıflandırma algoritmaları, orijinal DR veri kümesine de uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar AAO algoritması ile özellik seçimi yapılmış veri kümesi ile karşılaştırılmıştır. Önerilen modelin performansı doğruluk, duyarlılık, özgüllük, kesinlik, f-ölçütü ve roc alanı değerleri bakımından değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, AAO algoritması ile özellik seçimi yapılmış veri kümesi üzerinde Bagging, CvR, IBk, JRip, Kstar ve SimpleCart algoritmaları ile daha iyi değerler elde edildiğini göstermektedir. Bu bakımdan önerilen özellik seçimi ile algoritmaların özellik seçimi olmadan elde edilen sınıflandırma oranlarında doğruluk için ortalama %2.7, duyarlılık için %3.5, özgüllük için %2'lik bir artış sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Atom arama optimizasyon algoritması, Diyabetik Retinopati, Özellik seçimi, Sınıflandırma

FEATURE SELECTION METHOD WITH ATOM SEARCH OPTIMIZATION FOR DETECTION OF DIABETIC RETINOPATHY

ABSTRACT

Diabetic Retinopathy (DR) is the leading cause of vision loss and blindness, affecting millions of people worldwide. There are many different scientific and medical approaches that use retinal fundus images for DR detection. In most of these approaches, various machine learning and deep learning approaches have been applied to diabetic retinopathy datasets without the feature selection step. The DR dataset obtained from the UCI machine learning repository was used in the study. In this article, Atom Search Optimization (ASO) algorithm, a new population-based metaheuristic method proposed by utilizing atom dynamics, is used for the first time as a feature selection method for the DR dataset. Applied the ASO algorithm to the normalized dataset, the new dataset was tested by six classification algorithms: Bagging, CvR, IbK, JRip, Kstar, and SimpleCart. The same classification algorithms were applied to the original DR dataset. The results obtained were compared with the data set that was selected with the ASO algorithm. The performance of the proposed model was evaluated in terms of accuracy, sensitivity, specificity, precision, f-measure, and roc curve values. The results show that better values were obtained with Bagging, CvR, IbK, JRip, Kstar, and SimpleCart algorithms on the dataset selected with the ASO algorithm. In this regard, an increase of 2.7% for the average accuracy, 3.5% for the sensitivity, and 2% for the specificity were achieved in the classification rates obtained without feature selection of the algorithms with the proposed feature selection.

Keywords: Atom search optimization algorithm, Diabetic Retinopathy, Feature selection, Classification

*¹ e-mail: faltunbey@firat.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0629-6888>,

² e-mail: erdalozbay@firat.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9004-4802> (Sorumlu Yazar),

1. Giriş

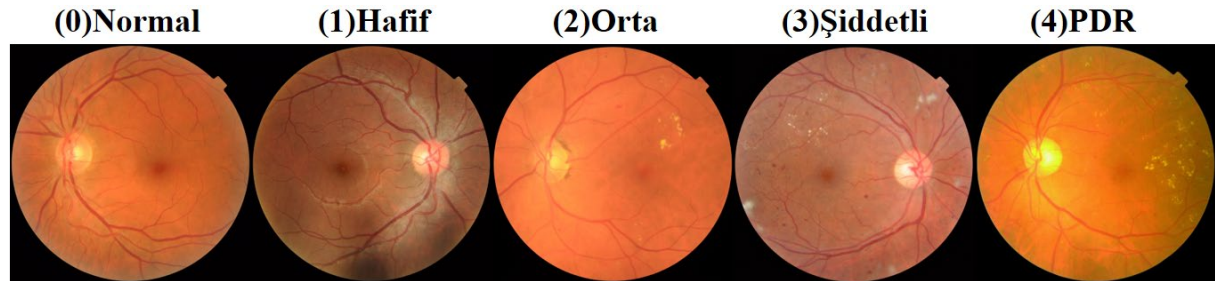
Diyabet, pankreasın yetersiz insülin üretmesi veya vücudun bunu gerektiği gibi kullanamaması sonucu kandaki glikoz miktarını artıran kronik bir hastalıktır. İnsülin, vücudumuzdaki hücrelerin yiyeceklerde glikoz kullanmasına ve vücudun şeker seviyesini kontrol etmesine yardımcı olan bir hormon türüdür. Yetersiz miktarda insülin, vücuttaki glikoz seviyesinde artışa neden olmaktadır. Bu durum da kişinin diyabetik olmasına sebep olmaktadır [1]. Uluslararası Diyabet Federasyonu verilerine göre 2017 yılında dünya genelinde 451 milyon yetişkinin diyabetle yaşadığı tahmin edilmektedir [2]. Çin, Hindistan ve ABD dünyanın en yüksek diyabet popülasyonuna sahip ilk üç ülkesidir [3]. Diyabet süresinin uzaması ile diyabet retina dâhil tüm vücudu etkilemektedir. Diyabetik Retinopati (DR), diyabetin ileri evrelerinde körlüğe neden olan en yaygın ve tehlikeli yan etkilerinden biridir. Dünya çapında, körlüğün %2.6'sının nedeni DR'dir [4]. Uzun süredir hastalıktan muzdarip diyabet hastalarında DR varlığı olasılığı artmaktadır. Diyabet hastalarının körlük riskinden korunmak için, DR'nin erken bir aşamada teşhis ve tedavi edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle düzenli retina taraması yapılmalıdır [5]. DR, bir retina görüntüsünde mikroanevrizmalar, kanamalar, yumuşak ve sert eksüdalar gibi farklı tip lezyonların ortaya çıkmasıyla saptanmaktadır [6].

Mikroanevrizmalar (MA): Perisitlerin (kasılma hücreleri) kaybı, mikroanevrizmalar olarak bilinen retinal kılcal damarların üzüm şeklinde veya iğ şeklinde genişlemesiyle vasküler hücreler arası temaslarda çeşitli değişikliklere yol açabilmektedir. Mikroanevrizmalar, DR'nin klinik olarak görülebilen en erken belirtisidir. Muayenede mikroanevrizmalar, retinanın iç nükleer tabakasında bulunan küçük kırmızı noktalar olarak görünmektedir [7].

Retina içi kanamalar: Retinada daha büyük noktalar olarak görünmektedir. Alev (yüzeysel) ve leke (daha derin) olmak üzere iki tür kanama bulunmaktadır [7].

Sert eksüdalar: Merkezi retinadaki anormal kan damarlarından sızan ve merkezi görmede bulanıklığa neden olan ve retinada sarı (lipoproteinli tortular) lekeler olarak görünen lipidlerdir [7].

Yumuşak eksüdalar (Pamuk yünü): Sinir lifinin şişmesi nedeniyle retinada beyaz lekeler olarak görünmektedir [7].



Şekil 1. DR'nin farklı evreleri

Kırmızı lezyonlar mikroanevrizma ve kanama iken parlak lezyonlar yumuşak ve sert eksudalardır. DR'nin iki ana tipi vardır: Proliferatif Olmayan Diyabetik Retinopati (NonProliferative Diabetic Retinopathy - NPDR) ve Proliferatif Diyabetik Retinopati (Proliferative Diabetic Retinopathy - PDR). Erken aşamalarda NPDR olarak adlandırılan DR, hafif, orta ve şiddetli olmak üzere 3 aşamadan oluşmaktadır [8]. Hafif evrede, kan damarlarının ucunda küçük dairesel kırmızı noktalar olarak bilinen MA'lar bulunmaktadır. Orta evrede, MA'lar daha derin katmanlara geçer ve retinada alev şeklinde bir kanama oluşturur. Şiddetli evre, dört kadranın her birinde, belirgin intraretinal mikrovasküler anormalliklerle birlikte kesin venöz kanamaya sahip 20'den fazla intraretinal kanama içermektedir. PDR, retinanın iç yüzeyinde büyüyen fonksiyonel mikrovasküler ağlar şeklinde yeni kan damarlarının doğal bir oluşumu olan neovaskülarizasyona yol açan DR'nin ileri aşamasıdır [9]. DR'nin farklı evreleri Şekil 1'de gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde, normal ve hafif evrelerin görsel olarak benzer olduğu görülmektedir. Bu nedenle, hafif evreyi tespit etmek zordur. Bu aşamalar ve barındırdıkları çeşitli lezyonlar Çizelge 1'de kısaca özetlenmiştir.

Çizelge 1. DR'nin seviyeleri ve ilişkili lezyonları.

| DR Şiddet Düzeyi | Lezyonlar |
|------------------|---|
| DR Yok | Lezyon yok |
| Hafif DR | Yalnızca mikroanevrizmalar |
| Orta DR | Mikroanevrizmalardan daha fazla fakat şiddetli DR'den daha az |
| Şiddetli DR | Aşağıdakilerden herhangi biri: <ul style="list-style-type: none"> • 4 retinal kadranın her birinde 20'den fazla intraretinal HM, • Venöz boncuklanmalar, • 1'den fazla kadranda belirgin intraretinal mikrovasküler anormallikler • Proliferatif DR belirtisi yok |
| Proliferatif DR | Aşağıdakilerden biri veya birkaçı: <ul style="list-style-type: none"> • Vitreus/preretinal HM, • Neovaskülarizasyon |

Tıbbi verilerin boyutları farklı birçok özellikler içermektedir ve her biri farklı değer türlerinden oluşmaktadır. Gürültü, aykırı değerler, eksik veya yinelenen veriler veri kalitesiyle ilgili sorunlara neden olmaktadır. Ham verileri daha sonra yapılacak analizler için uygun hale getirmek için veri hazırlamaya odaklanarak ön işleme adımları uygulamak gerekmektedir. Bu problemlerin bazılarının üstesinden gelmek için özellik seçme yöntemi kullanılabilir. Özellik seçimi, sınıflandırıcının performansını artırmak ve hesaplama yükünü azaltmak için önemli bir adımdır. Ayrıca, boyutun azaltılması alakasız özellikleri ortadan kaldırabilirken, gürültünün azaltılması, daha az özelliğin ilişkilendirilmesi nedeniyle daha sağlam öğrenme modelleri üretilmesini sağlayabilmektedir.

Bu çalışmada, DR tespiti için DR veri kümesinden özellik seçimi yapmak amacıyla atomik hareketi taklit eden, yakın zamanda önerilen fizikten ilham alan Atom Arama Optimizasyonu (AAO) algoritmasını kullanılmıştır. Bu bakımdan popülasyon tabanlı bir metasezgisel bir algoritma olan AAO algoritmasını kullanan yeni bir yöntem önerilmektedir. Önerilen bu yöntemde, AAO algoritması ile özellik seçimi yapılarak elde edilen yeni veri kümesine ve orjinal veri kümesine Bagging, Classification via Regression (CvR), IBk, JRip, Kstar ve SimpleCart olmak üzere altı farklı sınıflandırma algoritması uygulanmıştır. Algoritmalarından elde edilen sonuçlar doğruluk, duyarlılık, özgüllük, kesinlik, f-ölçütü ve roc alanı olmak üzere birçok farklı performans değerlendirme kriterine göre karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçlarına göre, DR tespiti için AAO algoritmasının özellik seçimi yöntemi olarak kullanılmasının Bagging, CvR, IBk, JRip, Kstar ve SimpleCart algoritmalarının performansları üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir.

Çalışmanın geri kalanı şu şekilde tasarlanmıştır: İkinci bölüm literatürde DR teşhisi için önerilen farklı yöntemleri sunmaktadır. Özellik seçimi için kullanılan AAO algoritması, sınıflandırma algoritması olarak kullanılan Bagging, CvR, IBk, JRip, Kstar ve SimpleCart algoritmaları ve sınıflandırma algoritmalarını analiz etmek için kullanılan performans değerlendirme metrikleri üçüncü bölümde detaylıca incelenmiştir. Dördüncü bölümde, çalışma kapsamında kullanılan DR veri kümesi açıklanmıştır. Aynı zamanda, önerilen yöntemin performans değerlendirmesi bu bölümde yapılmıştır. Son olarak, beşinci bölümde çalışmanın önemi ve sonuçları vurgulanmıştır.

2. Literatür Taraması

Körlüğe neden olan DR'nin erken evrelerde saptanması DR'nin önlenmesi önemli bir esastır. Bu nedenle DR'nin tespit edilebilmesi için alanında uzman araştırmacılar tarafından araştırma ve ilgi alanlarına göre pek çok farklı çalışma yapılmıştır. Tıp alanında önerilen yöntemlerin dışında, DR'nin tespiti için araştırmacılar birçok farklı makine öğrenmesi ve derin öğrenme yöntemleri önermiş ve uygulamışlardır.

Sahlsten ve diğerleri, DR'nin belirlenmesi için yüksek doğruluğa sahip derin öğrenme temelli bir yaklaşım geliştirmişlerdir [10]. Analizlerini, yüksek çözünürlüklü görüntülerin üzerinde yapmışlardır. Elde edilen sonuçlar, maliyetteki sınırlamalar göz önünde bulundurulduğunda derin öğrenme modellerinin hastalığı teşhis etmekte kabiliyetinin yüksek olduğunu göstermektedir.

Gondal ve diğerleri, DR'nin tespiti için (Evrişimli Sinir Ağı) ESA modeli kullanan bir yöntem önerilmiştir. Kaggle veri kümesini eğitim ve DiaretDB1 veri kümesi test kümesi olmak üzere genel erişime açık iki veri kümesi kullanılmıştır. DiaretDB1 veri kümesinde, önerilen ESA modeli %93.6 duyarlılık ve %97.6 özgüllük ile sonuçlanmıştır [11].

Li ve diğerleri, farklı bir çalışmada, renkli fundus görüntüleri işlenerek DR'nin tespiti için veri odaklı derin öğrenme modeli önerilmiştir. Önerilen model, hastalıklı görüntüleri sağlıklı görüntülerden ayırmayı sağlamıştır [12].

Retinal fundus görüntülerinden DR ve makula ödemi saptamak için derin öğrenme modeli tasarlanmıştır [13]. 128,175 retinal görüntüden veri setini eğitmek için derin bir evrişimsel sinir ağı kullanılmıştır [14]. Çalışmadan elde edilen duyarlılık ve özgüllük oranları, derin bir sinir ağı modelinin, diyabetik hastalar arasında yönlendirilebilir diyabetik retinopatinin saptanmasındaki başarılarını göstermektedir.

Raman ve diğerleri, retinal fundus görüntülerinden anormal özelliklerin varlığını tespit ederken, retinal görüntülemedeki anormalliği bulmak için bilgisayar destekli algılama mekanizmasını geliştirmişlerdir. Önerilen yöntem, görüntülerin iyileştirilmesi, gürültünün filtrelenmesi, kan damarlarının tespiti ve optik diskin tanımlanması, eksüdaların ve mikroanevrizmaların çıkarılması, özelliklerin çıkarılması ve DR'nin hafif, orta, şiddetli NPDR ve PDR olmak üzere çeşitli aşamalarının makine öğrenmesi yöntemleri ile sınıflandırılmasına odaklanmıştır [15].

Porwal ve diğerleri, lezyon segmentasyonunun önceki aşamasından kaçınarak hasta ve sağlıklı vakaları ayırt etmek için renkli fundus görüntülerinin dokusunu tanımlamışlardır. Bu çalışmada, AdaBoost, rastgele orman, lojistik regresyon ve destek vektör makinelerini içeren farklı birçok sınıflandırıcı kullanılmıştır [16].

Hemanth ve diğerleri, retinal fundus görüntülerinden diyabetik retinopati tanısı için alternatif hibrit bir çözüm yöntemi önerilmiştir. Hibrit yöntemde, görüntü işleme ve derin öğrenmeyi daha iyi hale getirmek için kullanılmıştır. Histogram eşitleme ve kontrast sınırlı uyarlanabilir histogram eşitleme teknikleri ile görüntü işleme yapılmıştır. Daha sonra, tanı konvolüsyonel bir sinir ağı ile gerçekleştirilmiştir. Önerilen yöntemin etkinliği, MESSIDOR verikümesindeki 400 retinal fundus görüntüsü kullanılarak test edilmiştir [17].

Shahin ve diğerleri, farklı bir çalışmada, retinal fundus görüntülerini proliferatif diyabet retinopati olan ve olmayan olarak otomatik olarak sınıflandırmak için bir sistem geliştirilmiştir. Entropi ve homojenlik dâhil olmak üzere iki indeksin yanı sıra kan damarları alanı ve eksüda alanı gibi patolojik özellikleri çıkarmak için morfolojik işlemeyi benimsenmişlerdir. Bu özellikler sık bir sinir ağını beslemektedir [18].

Eksüda lezyonunu bölümlere ayırmak için yukarıdan aşağıya bölümlenme ve sert eksüdaların şiddetini derecelendirmek için fovea merkezli bir kutupsal koordinat sistemi olmak üzere iki bölümden oluşan otomatik bir algoritma öneren farklı bir yöntem 236 fundus görüntüsünden oluşan küçük bir veri kümesi üzerinde test edilmiştir [19].

Diyabetik retinopati olan ve olmayan insanları %90'dan fazla doğrulukla ayırt etmek için rastgele orman algoritmasını kullanan bir yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntem dereceli fundus fotoğrafları ve sistemik verilere dayanarak DR riskini değerlendirmektedir [20].

Gargeya ve Leng, derin evrişimli sinir ağını geleneksel bir makine öğrenme algoritması ile birleştiren bir yöntem önermişlerdir. Çalışmada, fundus görüntüleri ön işlemden sonra kalıntı bir ağı beslemekte ve daha sonra ağın son havuzlama katmanından elde edilen görüntülerin karakterizasyonu,

birkaç meta veri değişkeni ile birlikte, sağlıklı ve sağlıklı olmayan arasında ayrım yapmak için bir karar ağacı sınıflandırıcısına gönderilmektedir [21].

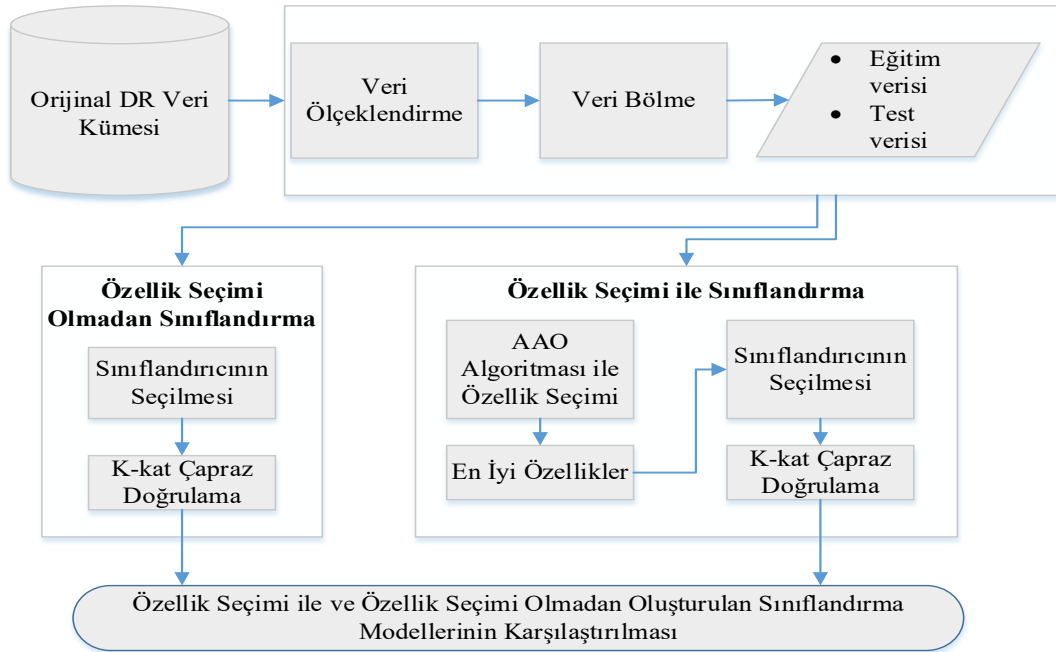
Akram ve diğerleri, retina görüntülerinde mikroanevrizmaları, kanamaları, sert eksüdalı, pamuk yünü lekelerini veya diğer lezyon türlerini saptamak için yeni bir hibrit sınıflandırıcı teknik tasarlamışlardır. Önerilen tekniğin performansını ve sınıflandırmadaki doğruluğunu geliştirmek için araştırmacılar m-medoids ile Gauss karışım modelini birleştirmişlerdir. Yöntemin etkinliğini değerlendirmek için standart fundus görüntü veritabanları kullanılmışlardır [22].

Welikala ve diğerleri yeni bir modifiye hat operatörü ve standart bir hat operatörü kullanarak proliferatif DR'yi sınıflandırmak için neovaskülarizasyonu tespit etmek için bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Destek vektör makinesi, her bir özellik kümesi üzerinde son sınıflandırmayı gerçekleştirmek için kullanılmıştır. Önerilen tekniğin performansını değerlendirmek için yalnızca 60 görüntüden oluşan küçük bir veri tabanı kullanılmıştır [23].

Waheed ve diğerleri, retinal kan damarı segmentasyonu için ortam sınıflandırmasına dayalı bir hibrit özellik veri kümesi kullanan bir yöntem sunmuştur. Araştırmacılar, normal kan damarlarını ve diyabetin bir sonucu olarak büyüyen sahte kan damarlarını ayırtmak için yeni bir bölge tabanlı hibrit özellik seti kullanmışlardır [24].

Zhang ve diğerleri DR'yi saptamak için eksüdalın saptanması için renkli retinal görüntüler üzerinde araştırma yapmışlardır. Bu tekniğin performansını belirlemek için yeni bir klinik veri tabanı olan E-optha EX kullanılmıştır. Bu veri seti, konturlu eksüdalı içermektedir. Eksüda tespiti için önerilen bu yöntem, aynı hastanın iki farklı muayenesi arasında hastalığın büyümesinin belirlenmesi gibi karmaşık problemler için geliştirilmiştir. Ön işleme adımı gürültü giderme, normalleştirme ve eksüdalın yanlış saptanmasına yol açabilecek görüntüdeki artefaktların saptanmasına dayanmaktadır. Aday segmentasyon tekniği, klasik ve bağlamsal özellikleri kullanan matematiksel morfolojiye dayalı olarak tanıtılmıştır. Son bir adım olarak, eksüdalı segmentlere ayırmak için rastgele orman algoritması uygulanmıştır [25].

3. Önerilen Yöntem



Şekil 2. Önerilen yöntemin mimarisi

Bu bölümde, DR tespiti için önerilen yöntem detaylı olarak incelenmiştir. Yöntemin ilk adımında, StandardScaler yöntemi kullanılarak özellik kümesi ölçeklendirilmiştir. Veri kümelerinin ölçeklendirilmesi, aykırı değerlerin kaldırılmasını, verilerin dönüştürülmesini ve verilerin normalleştirilmesini içermektedir [26]. DR tespiti için verilere bir sınıflandırıcı algoritması uygulamadan önce veri kümesinin dikkatli bir şekilde değerlendirilmesi önemlidir. Gereksiz ve alakasız birçok özelliği kullanmak yerine sınıflandırma sürecini daha verimli hale getirmek için sadece gerekli özellikleri dikkate alınabilir. Bu nedenle, ilgili ve önemli özelliklerin seçebilmesi için özellik seçimi yöntemleri kullanılmaktadır. Ayrıca, sınıflandırma uygulamalarında özellik seçimi yöntemlerinin kullanılarak önemli özelliğin bulunması sınıflandırıcının iş yükünün azaltılmasına yardımcı olmaktadır. Bu sayede sınıflandırma algoritmalarının doğruluğu artmaktadır. Bu çalışmada DR veri kümesinden özellik seçimi için atom dinamiklerinden faydalanılarak önerilmiş popülasyon temelli yeni bir algoritma olan Atom Arama Optimizasyon (AAO) algoritması kullanılmıştır. Veri normalizasyon adımından sonra, sınıflandırma algoritmaları için en uygun özelliklerin belirlenmesi için normalize edilmiş veri kümesine AAO algoritması uygulanarak özellik seçimi yapılmıştır. En uygun özellik kümesi seçildikten sonra elde edilen yeni DR veri kümesine Bagging, CvR, IBk, JRip, Kstar ve SimpleCart algoritmaları uygulanmıştır. Aynı zamanda orijinal veri kümesine de aynı sınıflandırma algoritmaları uygulanmıştır. Özellik seçimi ile oluşturulan yeni veri kümesi ve orijinal veri kümesinden elde edilen sonuçlar birçok farklı metriğe göre karşılaştırılarak AAO algoritması ile özellik seçimi yapmanın DR tespiti üzerindeki etkiliği test edilmiştir. Önerilen yöntemin mimarisi Şekil 2’de verilmiştir.

3.1. Atom Arama Optimizasyon (AAO) Algoritması

AAO algoritması, küresel optimizasyon problemleri için etkili bir arama mekanizması tasarlamak için etkileşim ve kısıtlama kuvvetleri tarafından kontrol edilen atomik hareketi taklit eden yakın zamanda önerilen fizikten ilham alan, popülasyon tabanlı bir sezgisel algoritmadır [1]. d . boyutta i . atoma etki eden toplam etkileşim kuvvetleri, aslında dinamik olarak değişen komşu atomların i . atomuna uyguladığı itme ve çekimin vektör toplamıdır. Bu durum denklem (1) ile ifade edilmiştir [27].

$$F_i^d(t) = \sum_{j \in K_{best}} rand_j F_{ij}^d(t) \quad (1)$$

$rand_j$ $[0,1]$ aralığında rastgele bir sayıdır. K_{best} en iyi uygunluk fonksiyonu değerlerine sahip ilk K atomdan oluşan atom popülasyonunun bir alt kümesidir. AAO algoritmasının ilk iterasyonlarda daha fazla keşif yapmasını sağlamak için, her atomun K komşuları kadar daha iyi uygunluk değerlerine sahip çok sayıda atomla etkileşime girmesi ve algoritmanın son iterasyonlarda daha fazla sömürü yapmasını sağlamak için, her atomun K komşuları kadar daha iyi uygunluk değerlerine sahip birkaç atomla etkileşime girmesi gerekir. Bu nedenle, K değerinin denklem (2)’deki gibi yinelemeler boyunca kademeli olarak azaltılması gerekmektedir [27].

$$K(t) = N - (N - 2) \times \sqrt{\frac{t}{T}} \quad (2)$$

N atomik sistemdeki atomların toplam sayısıdır. t mevcut iterasyon ve T maksimum iterasyon sayısıdır. Denklem (1)’deki F_{ij}^d j . en iyi atomun d . boyutta i . atoma uyguladığı etkileşim kuvvetidir. Etkileşim kuvveti Lennard-Jones (L-J) potansiyelinin gradyanıdır ve optimizasyon problemlerini ele almak için, bu modelin pozitif çekim ve negatif itme kuvvetleri ile yeniden düzenlenmiş versiyonu [28] denklem (3)’te verilmiştir.

$$F_{ij}^d = -\eta(t) [2 (h_{ij}(t))^{-13} - (h_{ij}(t))^{-7}] \frac{\vec{r}_{ij}}{r_{ij}} \quad (3)$$

$\eta(t)$, itme ve çekim bölgelerini ayarlamak için kullanılan bir derinlik fonksiyonudur. $h_{ij}(t) = r_{ij}/\sigma(t)$ iki atom arasındaki uzaklığın uzunluk ölçeğine oranını ifade etmektedir.

Konum farkı vektörü denklem (4) ile ifade edilmiştir.

$$r_{ij} = \vec{x}_j - \vec{x}_i \quad (4)$$

$\vec{x}_j = (x_{j1}, x_{j2}, x_{j3})$ j . atomun konum vektörüdür. $\vec{x}_i = (x_{i1}, x_{i2}, x_{i3})$ ise i . atomun konum vektörünü ifade eder. Burada r_{ij} , denklem (5)'te verildiği gibi i . ve j . atomlar arasındaki Öklid uzaklığıdır.

$$r_{ij} = \|\vec{x}_j - \vec{x}_i\| = \sqrt{(x_{j1} - x_{i1})^2 + (x_{j2} - x_{i2})^2 + (x_{j3} - x_{i3})^2} \quad (5)$$

Derinlik fonksiyonu ise denklem (6)'da verilmiştir.

$$\eta(t) = \alpha \left(1 - \frac{t-1}{T}\right)^3 e^{-\frac{20t}{T}} \quad (6)$$

α , derinlik ağırlığıdır ve bu çalışmada 50 olarak belirlenmiştir.

İki atom arasındaki ölçeklenmiş mesafe denklem (7) ile hesaplanmaktadır.

$$h_{ij}(t) = \begin{cases} h_{min} \frac{r_{ij}(t)}{\sigma(t)} < h_{min} \\ \frac{r_{ij}(t)}{\sigma(t)} \quad h_{min} \leq \frac{r_{ij}(t)}{\sigma(t)} \leq h_{max} \\ h_{max} \frac{r_{ij}(t)}{\sigma(t)} > h_{max} \end{cases} \quad (7)$$

Ölçeklenmiş uzaklığın (h) alt ve üst sınıflarını ifade eden h_{min} ve h_{max} denklem (8) ile hesaplanmaktadır.

$$\begin{cases} h_{min} = g_0 + g(t) \\ h_{max} = u \end{cases} \quad (8)$$

g_0 , 1.1 olarak ayarlanmış en düşük limit ve u ise 1.24 olarak ayarlanmış en üst limittir. $g(t)$ denklem (9) ile hesaplanan ve algoritmanın keşiften sömürüye geçişini sağlayan sürüklenme faktörüdür.

$$g(t) = 0.1 \times \sin\left(\frac{\pi}{2} \times \frac{t}{T}\right) \quad (9)$$

Denklem (7)'deki uzunluk ölçeği $\sigma(t)$ çarpışma çapını gösterir ve denklem (10) ile hesaplanmaktadır.

$$\sigma(t) = \left\| x_{ij}(t), \frac{\sum_{j \in K_{best}} x_{ij}(t)}{K(t)} \right\|_2 \quad (10)$$

AAO algoritmasında her atomun, en iyi atomla kovalent bağa sahip olduğu kabul edilir. Böylece, her bir atomun en iyi atom ile arasındaki ağırlıklı konumun farkı olan geometrik kısıtlama kuvveti denklem (11) ile hesaplanmaktadır.

$$G_i^d(t) = \lambda(t)(x_{best}^d(t) - x_i^d(t)) \quad (11)$$

x_{best}^d d . boyutta en iyi atomun pozisyonu gösterir. $\lambda(t)$ ise Lagrange çarpanını ifade eder ve denklem (12) ile hesaplanmaktadır:

$$\lambda(t) = \beta e^{-\frac{20t}{T}} \quad (12)$$

β , bu çalışmada 0.2 olarak ayarlanmış çarpan ağırlığıdır. Sırasıyla etkileşim ve kısıtlama kuvvetinin tanımlanmasının ardından denklem (13)'te d . boyutundaki i . atomunun t . iterasyondaki ivmesi hesaplanmaktadır;

$$a_i^d(t) = \frac{F_i^d(t)}{m_i^d(t)} + \frac{G_i^d(t)}{m_i^d(t)} = -\alpha \left(1 - \frac{t-1}{T}\right)^3 e^{-\frac{20t}{T}} \quad (13)$$

$$\times \sum_{j \in K_{best}} \frac{rand_j \left[2 \left(h_{ij}(t) \right)^{-13} - \left(h_{ij}(t) \right)^{-7} \right]}{m_i(t)}$$

$$\cdot \frac{\left(x_j^d(t) - x_i^d(t) \right)}{\| \vec{x}_i(t), \vec{x}_j(t) \|_2} + \beta e^{-\frac{20t}{T}} \frac{x_{best}^d(t) - x_i^d(t)}{m_i(t)}$$

buradaki $m_i(t)$ t . iterasyondaki i . atomun kütleini belirtir ve denklem (14) ve denklem (15)'te verildiği üzere atomun uygunluk fonksiyonu hesaplanmaktadır;

$$M_i(t) = e^{\frac{Fit_i(t) - Fit_{best}(t)}{Fit_{worst}(t) - Fit_{best}(t)}} \quad (14)$$

$$m_i(t) = \frac{M_i(t)}{\sum_{j=1}^N J_j(t)} \quad (15)$$

Denklemden $Fit_i(t)$ i . atomun t . iterasyondaki uygunluk fonksiyonu değerini gösterir. $Fit_{best}(t)$ ve $Fit_{worst}(t)$ sırasıyla t . iterasyondaki en iyi atom ile en kötü atom arasındaki uygunluk fonksiyonu değerlerini ifade eder ve denklem (16) ile hesaplanmaktadır.

$$Fit_{best}(t) = \min_{i \in \{1, 2, \dots, N\}} Fit_i(t); \quad (16)$$

$$Fit_{worst}(t) = \max_{i \in \{1, 2, \dots, N\}} Fit_i(t);$$

i . atomun $(t+1)$. iterasyondaki konum ve hız güncellemeleri denklem (17) ve denklem (18) ile hesaplanmaktadır.

$$v_i^d(t+1) = rand_i^d \cdot v_i^d(t) + a_i^d(t) \quad (17)$$

$$x_i^d(t+1) = x_i^d(t) + v_i^d(t+1) \quad (18)$$

AAO algoritmasının sözde kodu Algoritma-1 de verilmiştir.

Algoritma-1: AAO algoritmasının sözde kodu

- 1: Rastgele bir dizi X atomu (çözümleri) hızları v , $Fit_{Best} = Inf$ şeklinde başlatılır.
 - 2: **while** durdurma kriteri sağlanmadığında **do**
 - 3: **for** her atom X_i **do**
 - 4: Fit_i uygunluk değeri hesaplanır;
 - 5: **if** $Fit_i < Fit_{Best}$ ise o zaman
 - 6: $Fit_{Best} = Fit_i$;
 - 7: $X_{Best} = X_i$;
 - 8: **end if**
-

-
- 9: Denklem (14) ve denklem (15) kullanılarak kütle hesaplanır;
 10: Denklem (2) ile K komşusu belirlenir;
 11: Denklem (1) ve Denklem (11) ile etkileşim kuvveti F_i ve kısıtlama kuvveti G_i hesaplanır;
 12: Denklem (13) ile ivme hesaplanır;
 13: Denklem (17) kullanılarak hız güncellenir;
 14: Denklem (18) kullanılarak pozisyon güncellenir;
 15: **end for**
 16: **end while**
 17: Şimdiye kadarki en iyi çözüm olan X_{Best} bulunur.
-

3.2. Sınıflandırma Algoritmaları

Önerilen yöntemde, DR teşhisi yapmak için AAO algoritması özellik seçimi yapılan ve özellik seçimi yapılmayan orijinal veri kümesine Bagging, CvR, IbK, JRip, Kstar, and SimpleCart olmak üzere altı adet sınıflandırma algoritması uygulanmıştır. Bu algoritmalar ile ilgili bilgiler aşağıda verilmiştir:

Bagging: Bagging algoritması 1994 yılında L. Breiman tarafından önerilmiştir. Mevcut bir eğitim setinden yeni eğitim setleri türeterek temel öğrenciyi yeniden eğitme yöntemidir. Eğitim sırasında ikame örnekleme yapılmaktadır. Bu yöntemde, n adet numuneden oluşan eğitim seti yerine n adet numune bulunan bir numune seti ile eğitim seti rastgele üretilmektedir. Seçilen her örnek eğitim kümesine döndürülür. Bazı örnekler yeni eğitim setinde yer almazken bazıları birden fazla yer alabilir. Rastgele seçilen eğitim kümeleri ile başarılı temel öğrenciler, uygunsuzluğu sağlamak için eğitilmektedir. Böylece kolektif bir başarı sağlanmaktadır. Temel öğrenenler karar ağaçları olmak zorunda değildir. Bu açıdan herhangi bir makine öğrenimi algoritması temel öğrenci olabilir. Ancak, Bagging için minimum eğitim setinin değiştirilmesinde bile sonucu maksimuma etkileyecek temel öğrencilerin seçilmesi başarıyı artıracaktır [29].

CvR: Regresyon yoluyla sınıflandırma, problemleri regresyon fonksiyonlarına dönüştürebilen bir sınıflandırma yöntemidir [30]. Bu yöntem, oluşturulan birkaç alt ağaç üzerinde karar ağacı algoritması ve doğrusal regresyon ilkelerini birleştirmektedir. Bu yöntemin iki ana adımı vardır: Öncelikle, hedef/çıktı değerlerine göre kriterler/parametreler/nitelikler ve bunların varyasyonlarının ayrılmasını maksimize ederek sıradan bir karar ağacı yapılmaktadır. Karar ağacı yapılırken sapma azaltma standardı hesaplanmaktadır. Sonra, karar ağacının birkaç olası alt ağaç üzerinde budanmakta ve genellikle yapraklar üzerinde buna göre regresyon fonksiyonu ile doldurulmaktadır.

IbK: IbK algoritması, en yakın komşu algoritmasından (kNN) esinlenmiştir. IbK algoritması, sınıflandırma sırasında bir model oluşturmaz, ancak tam zamanında bir test örneği için bir tahmin üretmektedir. IbK algoritması, her test örneği için eğitim verilerinde k yakın örneği bulmak için bir mesafe ölçüsü kullanır ve bir tahmin yapmak için seçilen örnekleri kullanmaktadır [31].

JRip: JRip bir önerme kuralı öğrencisidir. Bu algoritmada, veri kümesinin örnekleri artan sırada işlenir ve veri kümesi için bir dizi kural oluşturulur. Daha sonra bir sonraki sınıf işlenir ve bu işlem tüm sınıflar kaplanana kadar devam etmektedir [32].

Kstar: Kstar, örnek tabanlı bir sınıflandırıcıdır, yani bir test örneğinin sınıfı, bazı benzerlik işlevleriyle belirlendiği gibi, kendisine benzer eğitim örneklerinin sınıfını temel almaktadır. Diğer örnek tabanlı öğrencilerden, entropi tabanlı bir uzaklık işlevi kullanması bakımından farklıdır [32].

SimpleCart: Yöntem, Leo Breiman [33] tarafından veri keşfi ve tahmini için geleneksel yöntemlere bir alternatif olarak önerilmiştir. SimpleCart, sınıflandırma için ikili karar ağacını oluşturur. Budama aşamasında, en iyi ağacı seçmek için çapraz doğrulama veya büyük test verileri kullanılır. Bu

yöntemde veriler farklı sonuçlara sahip iki alt gruba ayrılmaktadır. Alt grup boyutu minimum olduğunda bu işlem sonlandırılmaktadır.

3.3. Modelin Değerlendirilmesi için Metrikler

Önerilen yöntemi değerlendirmek için aşağıdaki metrikler kullanılmıştır.

Doğruluk: Test aşamasında etiketin gerçek değeri ile karşılaştırıldığında bir sınıflandırıcının yaptığı doğru tahminlerin yüzdesini ifade etmektedir. Diğer bir ifadeyle, doğru değerlendirme sayısının tüm değerlendirme sayısına oranı olarak da söylenebilir. Doğruluk denklem (19) kullanılarak hesaplanabilir.

$$\text{Doğruluk} = \frac{(DN + DP)}{(DN + DP + YN + YP)} \quad (19)$$

Denklemden, DP doğru pozitifleri, DN doğru negatifleri, YP yanlış pozitifleri ve YN yanlış negatifleri göstermektedir. Bir veri kümesindeki bir örneğin sınıf etiketi pozitifse ve sınıflandırıcı da sınıf etiketini pozitif olarak tahmin ederse, buna doğru pozitif denir. Bir veri kümesindeki bir örneğin sınıf etiketi negatifse ve sınıflandırıcı sınıf etiketini negatif olarak tahmin ederse, buna doğru negatif denir. Bir veri kümesindeki bir örneğin sınıf etiketi pozitifse, ancak sınıflandırıcı o örneğin sınıf etiketini negatif olarak tahmin ederse, buna yanlış negatif denir. Bir veri kümesindeki bir örneğin sınıf etiketi negatifse, ancak sınıflandırıcı o örneğin sınıf etiketini pozitif olarak tahmin ediyorsa, buna yanlış pozitif denir.

Duyarlılık: Test sırasında sınıflandırıcı tarafından doğru olarak tanımlanan doğru pozitiflerin yüzdesidir. Denklem (20) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$\text{Duyarlılık} = \frac{DP}{DP + YN} \quad (20)$$

Özgüllük: Test sırasında sınıflandırıcı tarafından doğru olarak tanımlanan doğru negatiflerin yüzdesidir. Denklem (21) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$\text{Özgüllük} = \frac{DN}{DN + YP} \quad (21)$$

Kesinlik: Önerilen yöntemin hatasızlığını belirlemek için önemli bir ölçüdür ve denklem (22)'de gösterildiği gibi hesaplanır. Toplam tahmine dayalı pozitif örneklere göre sınıflandırıcının pozitif olarak etiketlediği örneklerin yüzdesini ifade etmektedir.

$$\text{Kesinlik} = \frac{DP}{DP + YP} \quad (22)$$

Hassasiyet: Sınıflandırıcı tarafından pozitif olarak tanımlanan pozitif örneklerin yüzdesini belirlemektedir. Hassasiyet, denklem (23) ile hesaplanmaktadır.

$$\text{Hassasiyet} = \frac{DP}{DP + YN} \quad (23)$$

F-ölçütü: F-ölçütü, denklem (24)'te verildiği gibi kesinlik ve hassasiyet metriklerinin harmonik ortalamasını temsil etmektedir. Kesinlik ve hassasiyet arasında bir denge bulmak için F-ölçüsü gereklidir. Doğruluk esas olarak çok sayıda Gerçek Negatif tarafından sağlanırken, Yanlış Negatif ve Yanlış Pozitif genellikle işletme maliyetlerinin artmasına neden olur. Bu bakımdan, eşit olmayan bir

sınıf dağılımı kullanıldığında kesinlik ve hassasiyet arasında bir denge gerektiğinde F-ölçütü ile daha iyi bir ölçüm sağlanmış olabilir.

$$F - \text{ölçütü} = \frac{2 * \text{Kesinlik} * \text{Hassasiyet}}{\text{Kesinlik} + \text{Hassasiyet}} \quad (24)$$

ROC eğrisi: Eksiksiz bir hassasiyet / özgüllük raporu oluşturmayı amaçlayan bir metriktir. ROC eğrisinde, hassasiyet, bir parametrenin farklı kesme noktaları için özgüllük işlevinde çizilmektedir. ROC eğrisinde her nokta belirli bir karar eşğine karşılık gelen bir duyarlılık / özgüllük çiftini temsil etmektedir. ROC eğrisi altında kalan alan (AUC), bir parametre için iki grubun ne kadar iyi ayırt edilebildiğinin gösterildiği bir ölçüttür.

4. Deneysel Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmadaki deneyler UCI makine öğrenimi deposundaki Diyabetik Retinopati veri kümesinde gerçekleştirilmiştir. Veri kümesinde 1151 örnek ve 20 özellik bulunmaktadır [34]. Özelliklerin açıklamaları Çizelge 2’de listelenmiştir.

Çizelge 2. Veri Kümesi açıklaması.

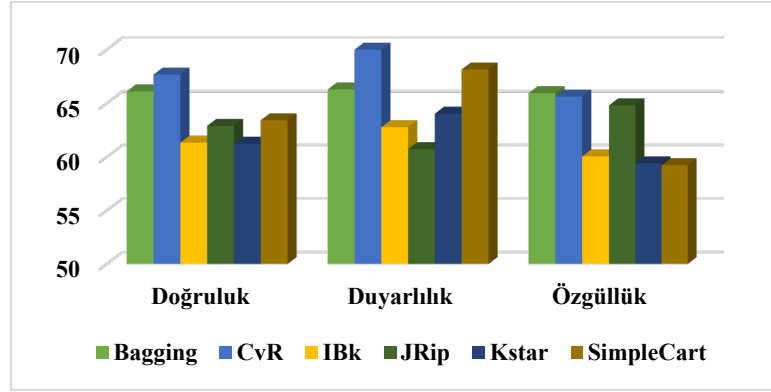
| Özellik numarası | Özelliğın açıklaması |
|------------------|--|
| 1 | 0 - Kötü kaliteyi temsil eder |
| 2 | 1 - Ciddi seviyede retina anormalliğini, 0 - retinal anormallik eksikliğini temsil eder. |
| 3-8 | Mikroanevrizma (MA) tespiti retinaya kan sızıntısına neden olmaktadır. |
| 9-16 | Eksüdalar için 3-8 ile aynı. Fakat farklı görüntü boyutları için normalize edilir. |
| 17 | Bu sütun, optik diskin merkezi ile merkez arasındaki Öklid mesafesini temsil eder. |
| 18 | Optik Disk Çapı |
| 19 | Genlik - frekans modülasyonu (GM / FM) tabanlı sınıflandırmanın ikili değeri. |
| 20 | Sınıf etiketi 1 - DR’yi ve 0 - DR olmadığını işaret eder. |

Bu bölümde özellik seçme aşaması olmadan sınıflandırma değerlendirme, özellik seçimi ile sınıflandırma değerlendirme ve karşılaştırmalı analiz aşaması olmak üzere üç aşamada elde edilen deneysel sonuçlar kısaca açıklanmaktadır.

4.1. Özellik Seçimi Aşaması Olmadan Sınıflandırma Değerlendirmesi

Bu aşamada, Bagging, CvR, IBk, JRip, Kstar, SimpleCart sınıflandırıcıları ile altı farklı sınıflandırma modeli oluşturulmuştur. Modeller için test seçeneği olarak on kat çapraz doğrulama kullanılmıştır. Modeller, herhangi bir özellik seçimi süreci olmaksızın DR veri kümesinde yer alan tüm özellikler kullanılarak oluşturulmuştur.

Bagging, CvR, IBk, JRip, Kstar ve SimpleCart algoritmaları için oluşturulan sınıflandırma modellerinin doğruluk, duyarlılık ve özgüllük oranları Şekil 3’te gösterilmiştir. Şekil 3 incelendiğinde, doğruluk ve duyarlılık bakımından CvR algoritmasının diğer algoritmalarından daha iyi sonuç elde ettiği görülürken, özgüllük bakımından Bagging algoritmasının en iyi değeri elde ettiği görülmüştür.



Şekil 3. Özellik seçimi olmadan sınıflandırma modellerinin performansları

Tüm sınıflandırma algoritmaları için elde edilen detaylı istatistiksel sonuçlar Çizelge 3'te verilmiştir. Çizelge 3'teki deney sonuçları incelendiğinde CvR algoritmasını kullanan modelin DR teşhisi için elde ettiği doğruluk yüzdesinin Bagging, IBk, Jrip, Kstar ve SimpleCart algoritmalarından daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Bagging algoritması 0.661, CvR 0.677, IBk 0.613, JRip 0.629, Kstar 0.612 ve SimpleCart algoritması 0.634 doğruluk oranı elde etmiştir.

Ayrıca bu modellerin performansını değerlendirmek için kesinlik, f-ölçütü ve ROC alanı olmak üzere üç performans değerlendirme ölçütleri için de elde edilen değerler Çizelge 4'te verilmiştir. Çizelge 4'e göre, kesinlik ve f-ölçütü bakımından CvR algoritmasının sırasıyla 0.712 ve 0.683 değerleri ile diğer algoritmalarından daha yüksek değer elde ettiği gözlemlenmiştir. ROC alanına göre 0.726 değeri ile Bagging ve CvR algoritmaları ile en yüksek değer elde edilmiştir.

Çizelge 3. Özellik seçimi olmadan sınıflandırma modellerinin detaylı istatistikleri.

| | Bagging | CvR | IBk | JRip | Kstar | SimpleCart |
|----------------------------------|---------|-------|-------|-------|-------|------------|
| Doğru Sınıflandırılmış Örnekler | 0.661 | 0.677 | 0.613 | 0.629 | 0.612 | 0.634 |
| Yanlış Sınıflandırılmış Örnekler | 0.339 | 0.323 | 0.387 | 0.371 | 0.388 | 0.366 |
| Kappa İstatistiği | 0.321 | 0.354 | 0.227 | 0.255 | 0.226 | 0.271 |
| Karekök Ortalama Hata | 0.4581 | 0.459 | 0.621 | 0.485 | 0.563 | 0.481 |
| Bağıl Mutlak Hata | 0.811 | 0.828 | 0.776 | 0.907 | 0.791 | 0.859 |

Çizelge 4. Özellik seçimi olmadan sınıflandırma modellerinin performans ölçütleri.

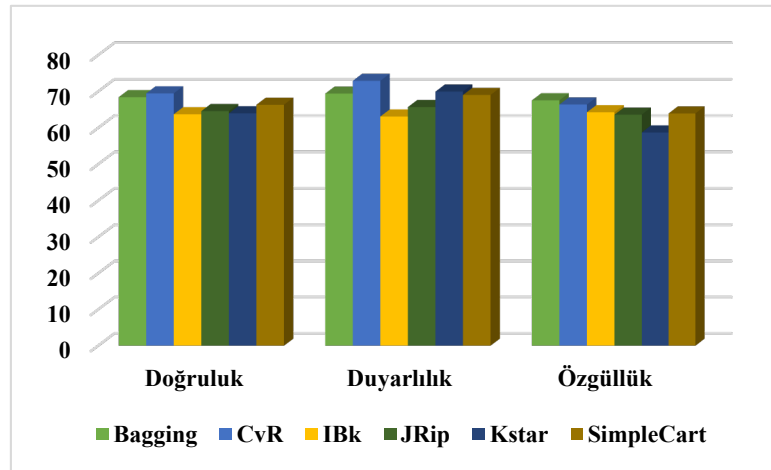
| | Kesinlik | F-ölçütü | ROC Alanı | Sınıf Etiketi |
|------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| Bagging | 0.689 | 0.674 | 0.726 | DR |
| | 0.633 | 0.647 | 0.726 | DR Değil |
| CvR | 0.712 | 0.683 | 0.726 | DR |
| | 0.643 | 0.670 | 0.726 | DR Değil |
| IBk | 0.646 | 0.623 | 0.608 | DR |
| | 0.581 | 0.604 | 0.608 | DR Değil |
| JRip | 0.651 | 0.650 | 0.637 | DR |
| | 0.604 | 0.606 | 0.637 | DR Değil |
| Kstar | 0.647 | 0.619 | 0.665 | DR |
| | 0.580 | 0.605 | 0.665 | DR Değil |
| SimpleCart | 0.678 | 0.636 | 0.668 | DR |
| | 0.596 | 0.632 | 0.668 | DR Değil |

4.2. Özellik Seçimi Aşaması ile Sınıflandırma Değerlendirmesi

Çizelge 5. AAO ile özellik seçimi için başlangıç parametreleri ve değerleri.

| Parametre | Değer |
|---------------------------|-------|
| α | 50 |
| β | 0.2 |
| Popülasyon sayısı | 10 |
| Maksimum iterasyon sayısı | 500 |

Çalışmanın bu aşaması iki adımdan oluşmaktadır. İlk adımda, DR veri kümesinden AAO ile özellik seçimi yapılmaktadır. AAO ile özellik seçimi yapmak için algoritmanın başlangıç parametreleri ve değerleri Çizelge 5’te verildiği gibi ayarlanmıştır. Yöntemin ikinci adımında ise, birinci adım sonunda seçilen en iyi özelliklere göre sınıflandırma algoritmalarının performansları değerlendirilmiştir. AAO ile özellik seçimi yapıldıktan sonra 20 özelliği olan DR veri kümesinden Çizelge 2’de açıklamaları verilen 3, 6, 8, 11 ve 14 numaralı beş özellik seçilmiştir.



Şekil 4. Özellik seçimi ile sınıflandırma modellerinin performansları

AAO algoritması ile DR veri kümesinden özellik seçimi yapıldıktan sonra Bagging, CvR, IBk, JRip, Kstar ve SimpleCart algoritmaları ile elde edilen doğruluk, duyarlılık ve özgüllük değerlerinin grafiksel gösterimi Şekil 4’te verilmiştir. Şekil 4 incelendiğinde, doğruluk ve duyarlılık bakımından CvR algoritmasının diğer algoritmalarından daha iyi sonuç elde ettiği görülürken, özgüllük bakımından Bagging algoritmasının en iyi değeri elde ettiği görülmüştür.

Çizelge 6. Özellik seçimi ile sınıflandırma modellerinin detaylı istatistikleri.

| | Bagging | CvR | IBk | JRip | Kstar | SimpleCart |
|----------------------------------|---------|-------|-------|-------|-------|------------|
| Doğru Sınıflandırılmış Örnekler | 0.684 | 0.695 | 0.637 | 0.646 | 0.640 | 0.663 |
| Yanlış Sınıflandırılmış Örnekler | 0.316 | 0.305 | 0.363 | 0.354 | 0.360 | 0.337 |
| Kappa İstatistiği | 0.369 | 0.391 | 0.274 | 0.292 | 0.284 | 0.328 |
| Karekök Ortalama Hata | 0.448 | 0.442 | 0.601 | 0.476 | 0.472 | 0.474 |
| Bağlı Mutlak Hata | 0.785 | 0.887 | 0.728 | 0.888 | 0.834 | 0.823 |

Çizelge 7. Özellik seçimi ile sınıflandırma modellerinin performans ölçütleri.

| | Kesinlik | F-ölçütü | ROC Alanı | Sınıf Etiketi |
|-------------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| Bagging | 0.715 | 0.695 | 0.753 | DR |
| | 0.654 | 0.674 | 0.753 | DR Değil |
| CvR | 0.736 | 0.698 | 0.766 | DR |
| | 0.658 | 0.692 | 0.766 | DR Değil |
| IBk | 0.664 | 0.653 | 0.642 | DR |
| | 0.610 | 0.621 | 0.642 | DR Değil |
| JRip | 0.678 | 0.636 | 0.670 | DR |
| | 0.615 | 0.657 | 0.670 | DR Değil |
| Kstar | 0.689 | 0.634 | 0.696 | DR |
| | 0.600 | 0.646 | 0.696 | DR Değil |
| SimpleCart | 0.701 | 0.669 | 0.691 | DR |
| | 0.629 | 0.658 | 0.691 | DR Değil |

Tüm sınıflandırma algoritmaları için elde edilen detaylı istatistiksel sonuçlar Çizelge 6'da verilmiştir. Çizelge 6'daki deney sonuçları incelendiğinde CvR algoritmasını kullanan modelin DR tespiti için elde ettiği doğruluk yüzdesinin Bagging, IBk, Jrip, Kstar ve SimpleCart algoritmalarından daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Bagging algoritması 0.661, CvR 0.677, IBk 0.613, JRip 0.629, Kstar 0.612 ve SimpleCart algoritması 0.634 doğruluk oranı elde etmiştir.

Ayrıca bu modellerin performansını değerlendirmek için kesinlik, f-ölçütü ve ROC alanı olmak üzere üç performans değerlendirme ölçütleri için de elde edilen değerler Çizelge 7'de verilmiştir. Çizelge 7'ye göre, kesinlik, f-ölçütü ve ROC alanı bakımından CvR algoritmasının sırasıyla 0.736, 0.698 ve 0.766 değerleri ile diğer algoritmalarından daha yüksek değer elde etmiştir.

4.3. Performans Analizi

Çalışmanın bu aşaması, önceki aşamalarda gerçekleştirilen iki deneye dayalı olarak performans değerlendirme kriterlerinin karşılaştırılmasını içermektedir. Çizelge 8'de AAO algoritması ile özellik seçimi yapılan ve özellik seçimi yapılmadan Bagging, CvR, IBk, JRip, Kstar ve SimpleCart algoritmaları ile doğruluk, duyarlılık ve özgüllük metrikleri için elde edilen sonuçları göstermektedir.

Çizelge 8. Sınıflandırma yöntemlerinin performans karşılaştırılması

| Sınıflandırıcı | | Değerlendirme Metrikleri | | |
|-------------------|------------------------|--------------------------|---------------|---------------|
| | | Doğruluk % | Duyarlılık % | Özgüllük % |
| Bagging | Özellik seçimi ile | 68.462 | 69.444 | 67.594 |
| | Özellik seçimi olmadan | 66.116 | 66.296 | 65.957 |
| CvR | Özellik seçimi ile | 69.504 | 72.963 | 66.448 |
| | Özellik seçimi olmadan | 67.680 | 70 | 65.630 |
| IBk | Özellik seçimi ile | 63.771 | 63.148 | 64.321 |
| | Özellik seçimi olmadan | 61.338 | 62.778 | 60.065 |
| JRip | Özellik seçimi ile | 64.639 | 65.741 | 63.666 |
| | Özellik seçimi olmadan | 62.902 | 60.741 | 64.812 |
| Kstar | Özellik seçimi ile | 64.031 | 70 | 58.756 |
| | Özellik seçimi olmadan | 61.251 | 64.045 | 59.411 |
| SimpleCart | Özellik seçimi ile | 66.377 | 69.074 | 63.993 |
| | Özellik seçimi olmadan | 63.423 | 68.148 | 59.247 |

Çizelge 8'deki sonuçlar, AAO algoritması ile özellik seçimi yapıldığında, tüm sınıflandırma yöntemlerinin doğruluk, duyarlılık ve özgüllük metriklerine bakımından özellik seçimi yapılmayan duruma göre daha iyi performans elde ettiğini göstermektedir. AAO algoritması ile özellik seçimi yapılan durumda, doğruluk bakımından en iyi sonuç 69.504 değeri ile CvR algoritması ile elde edilmiştir. CvR algoritmasından sonra ikinci en iyi doğruluğu 68.462 değeri ile Bagging algoritması vermiştir. AAO algoritması ile özellik seçimi yapıldıktan sonra duyarlılık bakımından en iyi sınıflandırma algoritması 72.963 değeri ile CvR iken özgüllük bakımından en iyi algoritma 67.594 değeri ile Bagging algoritmasıdır. Bu bakımdan önerilen özellik seçimi ile algoritmaların özellik seçimi olmadan elde edilen sınıflandırma oranlarında doğruluk için ortalama %2.7 duyarlılık için %3.5 özgüllük için %2'lik bir artış sağlanmıştır.

AAO algoritması ile özellik seçimi olmadan, doğruluk ve duyarlılık metriğine göre en iyi sonucu veren algoritmalar sırasıyla 67.680 ve 70 değerleri ile CvR'dir. Özgüllük bakımından en iyi algoritma ise 65.957 değeri ile Bagging'dir. Deney sonuçları, uygun bir özellik seçim algoritması belirlenmenin sınıflandırma sonuçlarında iyileşme olabileceğini göstermiştir.

5. Sonuçlar ve Gelecek Çalışmalar

Bu çalışmada, diyabetik retinopati tespiti problemi için atom dinamiklerinden faydalanarak önerilmiş popülasyon temelli yeni bir metasezgisel yöntem olan Atom Arama Optimizasyon algoritması ilk kez özellik seçim yöntemi olarak kullanılmıştır. Bagging, CvR, IBk, JRip, Kstar ve SimpleCart sınıflandırma algoritmaları, AAO algoritması ile özellik seçimi yapılmış veri kümesi ve orjinal veri kümesine uygulanarak elde edilen deney sonuçları doğruluk, duyarlılık, özgüllük, kesinlik, f-ölçütü ve roc alanı olmak üzere farklı performans metriklerine göre karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmalar AAO algoritması ile özellik seçimi yapılması durumunda Bagging, CvR, IBk, JRip, Kstar ve SimpleCart algoritmalarının başarı oranının özellik seçimi olmayan durumdan daha iyi olduğunu göstermiştir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir kurum, kuruluş, kişi ile kişisel ve finansal çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedirler.

Kaynaklar

- [1] Taylor R, Batey D. Handbook of retinal screening in diabetes: diagnosis and management. John Wiley & Sons.
- [2] Lin X, Xu Y, Pan X, Xu J, Ding Y, Sun X, Shan PF. Global, regional, and national burden and trend of diabetes in 195 countries and territories: an analysis from 1990 to 2025. Scientific reports 2020; 10(1): 1-11.
- [3] Murray CJ, Lopez A. Mortality by cause for eight regions of the world: Global Burden of Disease Study. The Lancet 1997; 349(9061): 1269-1276.
- [4] Bourne RR, Stevens GA, White RA, Smith JL, Flaxman SR, Price H. Causes of vision loss worldwide, 1990–2010: a systematic analysis. The lancet global health 2013;1(6): 339-e349.
- [5] Harper CA, Keeffe JE. Diabetic retinopathy management guidelines. Expert review of ophthalmology 2012; 7(5): 417–39.
- [6] Khurana DAK. Comprehensive ophthalmology: With supplementary book. Review of Ophthalmology. JP Medical Ltd, editor 2015.
- [7] Patel S, Lohakare M, Prajapati S, Singh, S, Patel N. DiaRet: A browser-based application for the grading of Diabetic Retinopathy with Integrated Gradients. arXiv preprint arXiv:2103.08501, 2021.

- [8] Qummar S, Khan FG, Shah S, Khan A, Shamshirband S, Rehman ZU, Jadoon W. A deep learning ensemble approach for diabetic retinopathy detection. *IEEE Access* 2019; 7: 150530-150539.
- [9] Haneda S, Yamashita H. International clinical diabetic retinopathy disease severity scale. *Nihon rinsho. Japanese journal of clinical medicine* 2010; 68: 228-235.
- [10] Sahlsten J, Jaskari J, Kivinen J, Turunen L, Jaanio E, Hietala K, Kaski K. Deep learning fundus image analysis for diabetic retinopathy and macular edema grading. *Scientific reports* 2019; 9: 1–11.
- [11] Gondal WM, Köhler JM, Grzeszick R Fink GA, Hirsch M, Weakly-supervised localization of diabetic retinopathy lesions in retinal fundus images. Paper presented at: IEEE international conference on image processing (ICIP) 2017: 2069-2073.
- [12] Li X, Pang T, Xiong B, Liu W, Liang P, Wang T, Convolutional neural networks based transfer learning for diabetic retinopathy fundus image classification. Paper presented at: 10th International Congress on Image and Signal Processing, BioMedical Engineering and Informatics (CISP-BMEI). IEEE 2017: 1–11.
- [13] Gulshan V, Peng L, Coram M, Stumpe MC, Wu D, Narayanaswamy A, Venugopalan S, Widner K, Madams T, Cuadros J. Development and validation of a deep learning algorithm for detection of diabetic retinopathy in retinal fundus photographs. *Jama* 2016; 316: 2402–2410.
- [14] Castellano G, Castiello C, Mencar, C.; Vessio, G. Crowd Detection for Drone Safe Landing Through Fully-Convolutional Neural Networks. *International Conference on Current Trends in Theory and Practice of Informatics*. Springer, 2020, pp. 301–312.
- [15] Raman V, Then P, Sumari P. Proposed retinal abnormality detection and classification approach: Computer-aided detection for diabetic retinopathy by machine learning approaches. Paper presented at: 8th IEEE International Conference on Communication Software and Networks (ICCSN) 2016: 636-641.
- [16] Porwal P, Pachade S, Kokare M, Giancardo L, Meriaudeau F. Retinal image analysis for disease screening through local tetra patterns. *Computers in biology and medicine* 2018; 102: 200-210.
- [17] Hemanth DJ, Deperlioglu O, Kose U. An enhanced diabetic retinopathy detection and classification approach using deep convolutional neural network. *Neural Computing and Applications* 2020; 32(3): 707-721.
- [18] Shahin EM, Taha TE, Al-Nuaimy W, El Rabaie S, Zahran OF, El-Samie FEA. Automated detection of diabetic retinopathy in blurred digital fundus images. Paper presented at: 8th International Computer Engineering Conference (ICENCO) 2013; 20–25.
- [19] Jaafar HF, Nandi AK, Al-Nuaimy W. Automated detection and grading of hard exudates from retinal fundus images. Paper presented at: 19th European signal processing conference 2011: 66–70.
- [20] Casanova R, Saldana S, Chew EY, Danis RP, Greven CM, Ambrosius WT. Application of random forests methods to diabetic retinopathy classification analyses. *PLoS One* 2014; 9(6).
- [21] Gargeya R, Leng T. Automated identification of diabetic retinopathy using deep learning. *Ophthalmology* 2017; 124(7): 962–969.
- [22] Akram MU, Shahzad K, Shoaib AK. Identification and classification of micro aneurysms for early detection of diabetic retinopathy. *Pattern Recogn* 2013; 46:107–116.
- [23] Welikala RA, Dehmeshki J, Hoppe A, Tah V, Mann S, Williamson TH. Automated detection of proliferative diabetic retinopathy using a modified line operator and dual classification. *Computer methods and programs in biomedicine* 2014; 114(3): 247-261
- [24] Waheed A, Waheed Z, Usman Akram M, Shaukat A. Removal of false blood vessels using shape based features and image inpainting. *Journal of Sensors* 2015.
- [25] Zhang X, Thibault G, Decencièrè E, Marcotegui B, Lay B, Danno R. Exudate detection in color retinal images for mass screening of diabetic retinopathy. *Medical image analysis* 2014; 18(7): 1026-1043.

- [26] Gadekallu TR, Khare N, Bhattacharya S, Singh S, Maddikunta PKR, Srivastava G. (2020). Deep neural networks to predict diabetic retinopathy. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing* 2020; 1-14.
- [27] Zhao W, Wang L, Zhang, Z. Atom search optimization and its application to solve a hydrogeologic parameter estimation problem. *Knowledge-Based Systems* 2019; 163: 283-304.
- [28] Zhao W, Wang L, Zhang Z. A novel atom search optimization for dispersion coefficient estimation in groundwater, *Future Generation Computer Systems* 2019; 91: 601-610.
- [29] Breiman L. Bagging predictors, *Machine Learning* 1996; 24: 123-140.
- [30] Ruan Y, Lin H, Tsai M. Improving Ranking Performance with Cost-Sensitive Ordinal Classification Via Regression. *Information retrieval* 2014; 17(1): 1-20.
- [31] Kaladhar DSVGK, Pottumuthu BK, Rao PVN, Vadlamudi V, Chaitanya AK, Reddy RH. The elements of statistical learning in colon cancer data sets: data mining, inference and prediction. *Algorithms Research* 2013; 2: 8-17.
- [32] Cohen WW. Fast effective rule induction. Paper presented in: Twelfth International Conference on Machine Learning 1995: 115-123.
- [33] Breiman L, Friedman JH, Olshen RA, Stone C, *Classification and regression trees*. Wadsworth Books, 1984.
- [34] University of California Irvine Machine Learning Repository. Accessed: Kasım. 5, 2021. [Online]. Available: <https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Diabetic+Retinopathy+Debrecen+Data+Set>

ENERGY DISSIPATION SCALE FOR DAM PROTOTYPES

Cüneyt YAVUZ*

¹Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, İnşaat Teknolojisi Bölümü, Kütahya, 43020, Türkiye

Geliş Tarihi/Received Date: 11.11.2021 Kabul Tarihi/Accepted Date: 15.02.2022 DOI: 10.54365/adyumbd.1022031

ABSTRACT

This study offers a novel empirical equation for those involved in ski-jump type energy dissipator, stilling basin, and plunge pool designs to determine the energy dissipation level due to air resistance. The equation verified by conducting experimental, empirical, and numerical regression analyses at the prototype scale. Energy dissipation due to air resistance can then be easily calculated for the discharges reaching up to 10000 m³/s by using the equation.

Keywords: *Air resistance, Energy dissipation, Flip bucket, Ski-jump jet*

BARAJ PROTOTİPLERİNDE DOLUSAVAK SU JETİ ENERJİ SÖNÜMLEME YÖNTEMİ

ÖZET

Bu çalışma sıçratma eşiği, çökeltim havuzu ve düşü havuzu gibi önemli baraj bileşenleri alanında araştırmalar yapan bilim insanları ve tasarım çalışmalarını yürüten mühendisler için dolusavaktan çıkan su jetindeki hava direnci yoluyla oluşan enerji sönmülmesi miktarının kolaylıkla hesaplanmasını sağlayacak özgün bir ampirik denklem sunulmaktadır. Bu denklem, gerçek boyutlarda baraj prototipi üzerinde uygulanan deneysel, ampirik ve nümerik hesaplamaların dikkate alınarak karşılaştırılması ile elde edilmiştir. Çalışmada verilen bu denklem ile, su jeti üzerinde hava direncinden kaynaklanan enerji sönmülmesini 10000 m³/s deşarj değerine kadar hesaplamak mümkündür.

Anahtar Kelimeler: *Enerji sönmülmesi, Hava direnci, Sıçratma eşiği, Su jeti*

1. Introduction

Energy dissipation of the excess water coming from a dam reservoir through the spillway is vital for the prevention of the scouring phenomenon downstream of the dam body [1]. Experimental, empirical, and numerical scour estimation methods have been comprehensively investigating by the scientists and engineers for a century [2-8]. Although spillways can easily discharge the excess water coming from the reservoir, it is not commonly an adequate solution to dissipate the energy of the water discharged. Because this amount of water could have an enormous energy and this energy can be a reason for scour problems at the downstream of the spillway of a dam, there needs to be provisions for energy dissipation structures or mechanisms which will reduce the water jet impact [9-11]. Therefore, suitable energy dissipating system has to be designed and installed on the downstream sections of the

* e-posta: cuneyt.yavuz@dpu.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9767-7234>

spillway [12,13]. These systems may consist of several applications. Although a variety of designs are used for energy dissipation at the base of spillways, the dissipation of energy is mainly through internal friction, turbulence, impact and diffusion of the high velocity flow in a pool of water. Khatsuria [14] stated that ski-jump, plunge pool, baffle blocks, hydraulic jump etc. may help the process of energy dissipation and may also create some problems like scour, cavitation at the plunge pool floor, bank erosion need to be identified and solved. Fraser [15] conducted an Ms thesis focused on the passage of extensive rainfalls from the reservoir by means of the proper spillway and outlet structures such as ski-jump buckets and plunge pools. Fraser [15] performed several hydraulic tests to maximize energy dissipation and air resistance on a physical hydraulic model. Various types of flip buckets were tested to disperse the water jet coming from the spillway. The results obtained from the study demonstrate that the Froude number, bucket angle, and shape of the bucket significantly affect the energy dissipation rate of the jet. He proposed a flip bucket design different from 400 circular-shaped buckets and managed to increase the air resistance up to 20%. Qian et al., [16] worked on a recently used ski-jump-step energy dissipator to increase water discharge through the spillway. Experimental studies were conducted on a hydraulic model. They mentioned that the ski-jump-step energy dissipator provides highly aerated flow which helps to prevent cavitation problems on the spillway itself and energy dissipation at the impingement area. The results showed that significant energy dissipation (up to 75%) and air concentration (up to 3.6%) were provided even for high discharge values. Moghadam et al., [17] performed a hydraulic model study inspecting the dynamic pressure variations at the impingement area by changing the plunge pool angle, level of water cushion, and discharge. They mentioned that increasing the plunge pool angle for high drop lengths of the jet can cause a decrease on dynamic pressure levels. It was also stated that, increasing the water level at the plunge pool helps the reduction of the dynamic pressure values at the downstream of the spillway. The rate of change of the dynamic pressure levels were obtained between 34% and 95% for different design conditions. Lauria and Alfonsi [18] inspected the ski-jump jets numerically and stated that the results help to characterize the problem for these types of dam structures. They provided some suggestions for the designers for constructing the ski-jump type energy dissipators. Yavuz [19] conducted a Ms thesis to examine the impact of the water jet released from the bucket lip on the river bed. Dynamic pressure values were recorded using pressure transmitters. Trajectory lengths are also measured for all test cases. The results revealed that air resistance significantly disperses the energy of the jet until a certain discharge value. Then, air suction dramatically reduced due to the low bucket lip velocity.

This study provides a novel estimation method for the energy dissipation amount of ski-jump jets by revealing experimental, empirical, and numerical solutions. Trajectory length with air resistance were measured (L_m), calculated (L_c), and simulated (L_s) to compare with the non-aerated trajectory length (L_t) to determine the energy dissipation amount due to air resistance for prototype scale. Even under large discharge level conditions reaching up to 10000 m³/s, the amount of energy dissipation can be estimated by using newly provided head loss (h_l) - discharge (Q) equation depending on experimental, empirical, and numerical regression analyses. Thereafter, both the amount of energy dissipation of ski-jump jet and jet trajectories can easily be calculated by means of the equation provided in this study. Experimental study was conducted on 1/25 scaled Laleli Dam and Hydroelectric Power Plant (HEPP) model (see Figure 1) in the Hydromechanics Laboratory of Civil Engineering Department, METU [19].

Laleli Dam and HEPP located on Coruh River, Turkey currently operational and producing 244.55 GWh electricity annually. Its height is 127.5 m, spillway width is 38 m, flip bucket angle is 55°, and height of the bucket lip from stilling basin is 30 m [20].



Figure 1. Hydraulic Model of Laleli Dam and HEPP [20]

2. Materials and Methodology

The flowchart of the methodology is shown in Figure 2. The experiments are conducted for 6 different discharges (i.e. Q (m^3/s) = 0.07, 0.10, 0.13, 0.16, 0.19, 0.22). Since the aeration on the spillway is negligibly small compared with the aeration amount after the bucket lip, non-aerated flow is assumed at the bucket lip. Jet head at the bucket lip (h), jet velocity at the bucket lip (V_j), and L_m are measured for each test case. h and V_j are used to calculate L_c . Experiments were performed for 6 different discharges and measured data can be seen in Table 1.

Table 1. Measured data from the experiments [19]

| Q_m (m^3/s) | h_m (m) | V_{jm} (m/s) | L_m (m) |
|---------------------------------|-----------|----------------|-----------|
| 0.22 | 0.035 | 7.86 | 5.49 |
| 0.19 | 0.031 | 7.66 | 5.10 |
| 0.16 | 0.027 | 7.41 | 5.04 |
| 0.13 | 0.023 | 7.07 | 4.67 |
| 0.10 | 0.019 | 6.58 | 4.07 |
| 0.07 | 0.015 | 5.83 | 3.55 |

The experimental data are converted to prototype values using Froude similarity law to compare with the prototype simulation results [21]. Empirical and numerical solutions are conducted using related equations and Flow 3Dv11.2 [22], respectively. Then, trajectory lengths are compared to determine the coincidence between L_m , L_c , and L_s outputs. Energy dissipation due to air resistance is calculated by subtracting the total head considering air resistance (H_{j2}) from the hypothetical total head (H_{j1}) at the bucket lip (see Figure 3).

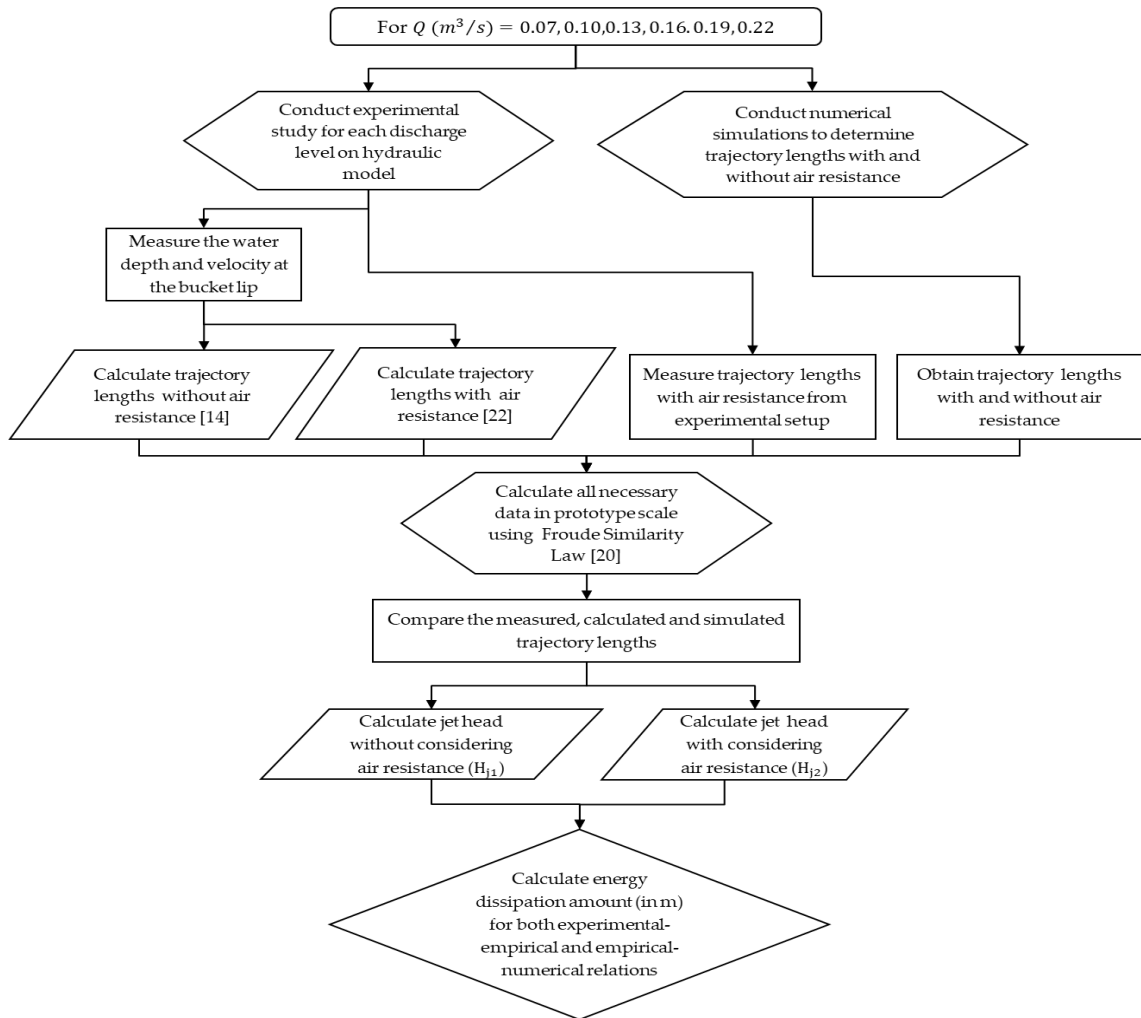


Figure 2. Flowchart of the methodology

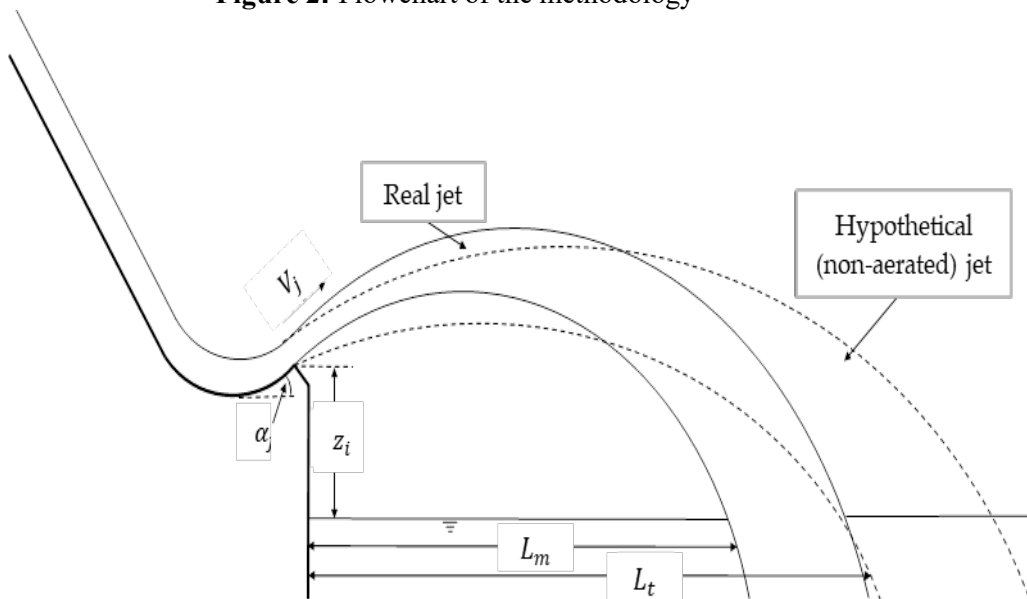


Figure 3. Sketch of L_m and L_t after the flip bucket of a spillway [20]

2.1. Calculation of Discharge Characteristics

Sharp-crested weir is a basic and suitable device for discharge measurements especially in rectangular open channel. The experimental setup includes a sharp-crested weir installed at the model exit. Measuring the head of overtopping water on the weir is used to calculate the discharge (Q_m) coming from the reservoir. A head-discharge relationship is generally governed to calculate discharge of flow over a sharp-crested weir and is shown in Equation 1;

$$Q = \left(\frac{2}{3}\right) C_d w \sqrt{2gH^3}, \quad (1)$$

where C_d is the discharge coefficient, H is the water level above the weir crest, and w is the channel width. Several studies had stated the discharge coefficient is a function of flow conditions and weir geometry. Rehbock's [23] experimental results on discharge coefficient are presented in Equation 2;

$$C_d = 0.611 + 0.08 \left(\frac{H}{P}\right), \quad \text{for } \frac{H}{P} \leq 5 \quad (2)$$

where P is the height of the sharp crested weir.

2.2. Calculation of Jet Characteristics

L_t of ski-jump jet can be calculated using projectile motion theory. The theory describes as a form of motion of a particle in a frictionless domain. Projectile motion equation can be stated as [14];

$$L_t = \frac{V_j \cos \alpha_j}{g} \left(V_j \sin \alpha_j + \sqrt{(V_j \sin \alpha_j)^2 + 2gz_i} \right), \quad (3)$$

where L_t is the trajectory length in a frictionless domain, z_i is the vertical drop from flip bucket lip to datum, V_j is the velocity of the jet at bucket lip, α_j is the bucket lip angle, (in degrees), g is the gravitational acceleration.

Kawakami [24] conducted some experiments on spillway prototypes and end up with an equation to describe air resistance effect on ski-jump jets. The equation generated by Kawakami [24] can be expressed as

$$L_c = \left(\frac{1}{gk^2}\right) \ln(1 + 2k\alpha V_j \cos \alpha_j), \quad (4)$$

where

$$\alpha = \tan^{-1}(kV_j \sin \alpha_j), \quad (5)$$

and L_c is the calculated trajectory length considering air resistance, k is the coefficient related to air resistance, and V_j is the velocity of the jet at bucket lip. Figure 4 constituted by Kawakami [24] shows the relationship between k , and V_j in prototype scale.

Reasonable coincidence is seen between the comparisons of L_m and L_c obtained from the performed experiments and calculations, respectively (see Figure 5). This matches revealed good fitness between the experimental and empirical applications.

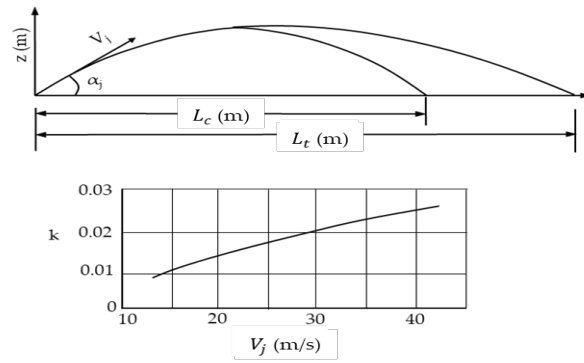


Figure 4. Relationship between k , and V_j in prototype scale, [24]

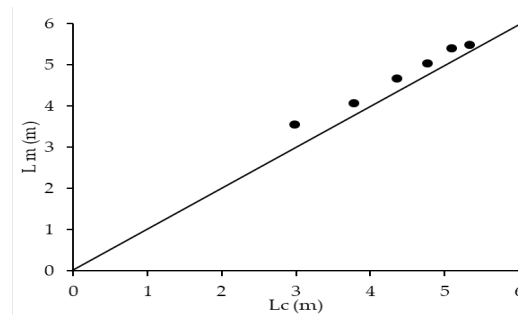


Figure 5. Comparison of L_m and L_c

To calculate energy dissipation for prototype scale, the projections of h , k and V_j are computed depending on h_m , Kawakami's [24] air resistance coefficient and V_{jm} , respectively. (Figure 6(a) and (b)). Once the required data is projected as shown in Figure 6, the prototype scale of L_t and L_c can be calculated for any discharge value using Equations 3 and 4, respectively.

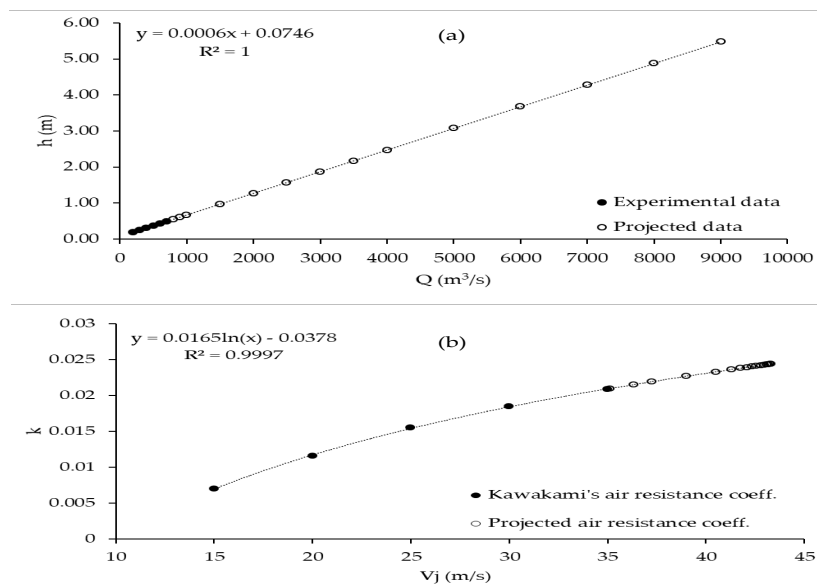


Figure 6. Projected (a) h versus Q , and (b) k versus V_j values in prototype scale

2.3. Calculation of Energy Dissipation (Head Loss)

Main purpose behind the ski-jump jets is to create energy dissipation by air resistance. Head loss due to air resistance can be estimated by comparing the throw distances calculated by Equation 3 and Equation 4. Since, L_a is shorter than L_t head loss due to air resistance can be calculated by using the following equation.

$$h_L = H_{j1} - H_{j2}, \quad (6)$$

where h_L is the head loss due to air resistance, H_{j1} is the total jet head without considering air resistance obtained by manipulating Equation 3, and H_{j2} is the total jet head with considering air resistance. Calculated (h_{LC}) and simulated (h_{LS}) head losses will be shown in Section 3.

2.4. Numerical Simulation Method

Flow characteristics of the experimental study are re-evaluated by numerical modeling defined as Computational Fluid Dynamics (CFD) in the literature. 3D numerical model is prepared by commercially available AutoCAD software (see Figure 7).

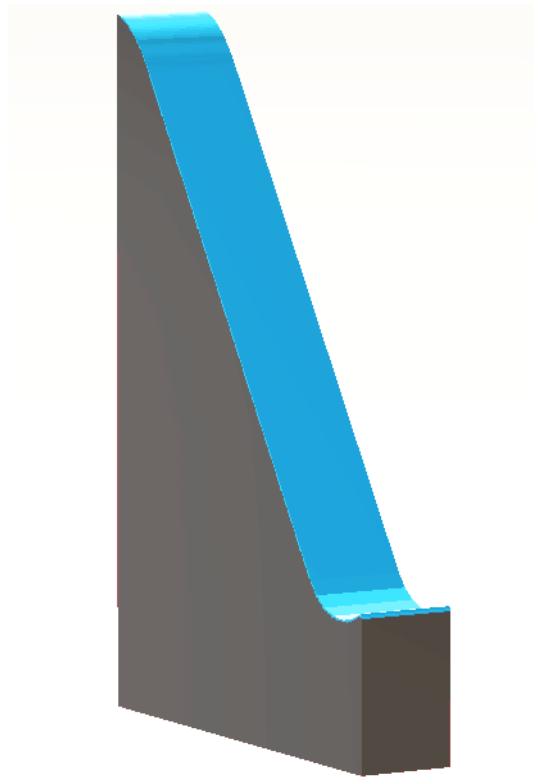


Figure 7. 3D numerical model of the spillway and flip bucket in prototype scale

Mesh format is generated to conduct simulations on the model. Mesh sizes are defined to create proper slip and wall shear stress conditions between the water and boundary of the numerical model. The numerical model is implanted in the simulation with its actual size. The mesh sizes of the water body are determined as 100 mm, 20 mm, and 50 mm in x, y, and z directions, respectively. Constant water depth and specified pressure on the spillway crest are determined for each released discharge level from the reservoir. Boundary conditions of the numerical model are identified as symmetrical for

sidewalls, downstream, and at the top of the spillway. Time intervals are described according to Courant-Friedrichs-Lewy (CFL) condition.

Numerical solution for each discharge level is conducted using Flow 3D v11.2 software [22]. Flow 3D is widely used numerical simulation program which includes Volume of Fluid (VOF) and multi-block meshing techniques. Additionally, the software uses Fractional Area Volume Obstacle Representation (FAVOR) method [22]. Free gridding method is used to discretize the flow domain. In this way, the required time for the grid generation and computation significantly decreases. Fluid properties are defined as incompressible and Newtonian. The software used Reynolds-Averaged Navier-Stokes (RANS) equations to perform numerical solutions. The $k - \varepsilon$ turbulence model is used to compute turbulent viscosity and Reynolds stresses [25]. The $k - \varepsilon$ model is assumed to have some advantages especially for open channel flows having high Reynolds numbers [26,27].

Continuity and Reynolds-Averaged Navier-Stokes (RANS) equations are given in Equation (7) and Equation (8), respectively.

$$u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_i} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \vartheta \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j \partial x_j} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + f_i, \quad (7)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (u_i A_i) = 0, \quad (8)$$

where u_i is the velocity component in i direction, x_i and x_j are Cartesian coordinates, p is the pressure, ρ is the water density, f_i is the body force, τ_{ij} is the Reynolds stress, and A_i is the fractional area in i direction. The fractional area is taken as 1 for an incompressible fluid. The Reynolds stress within $k - \varepsilon$ model can be defined as:

$$\tau_{ij} = -\rho u_i' u_j' = 2\rho v_t S_{ij} - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij}, \quad (9)$$

where v_t is the eddy viscosity, u_i' and u_j' are the fluctuating velocity components, S_{ij} is the strain-rate tensor and δ_{ij} is the Kronecker delta. Empirical definitions of v_t , S_{ij} , and δ_{ij} are given in the following equations.

$$v_t = C_\mu \frac{k}{\varepsilon}, \quad (10)$$

$$S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right), \quad (11)$$

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{if } i = j \\ 0 & \text{if } i \neq j \end{cases}, \quad (12)$$

where $C_\mu = 0.09$ for standart $k - \varepsilon$ model [28].

Some sample numerical solution of (L_s) and non-aerated (L_{ts}) trajectory lengths are conducted and shown in Figure 8.

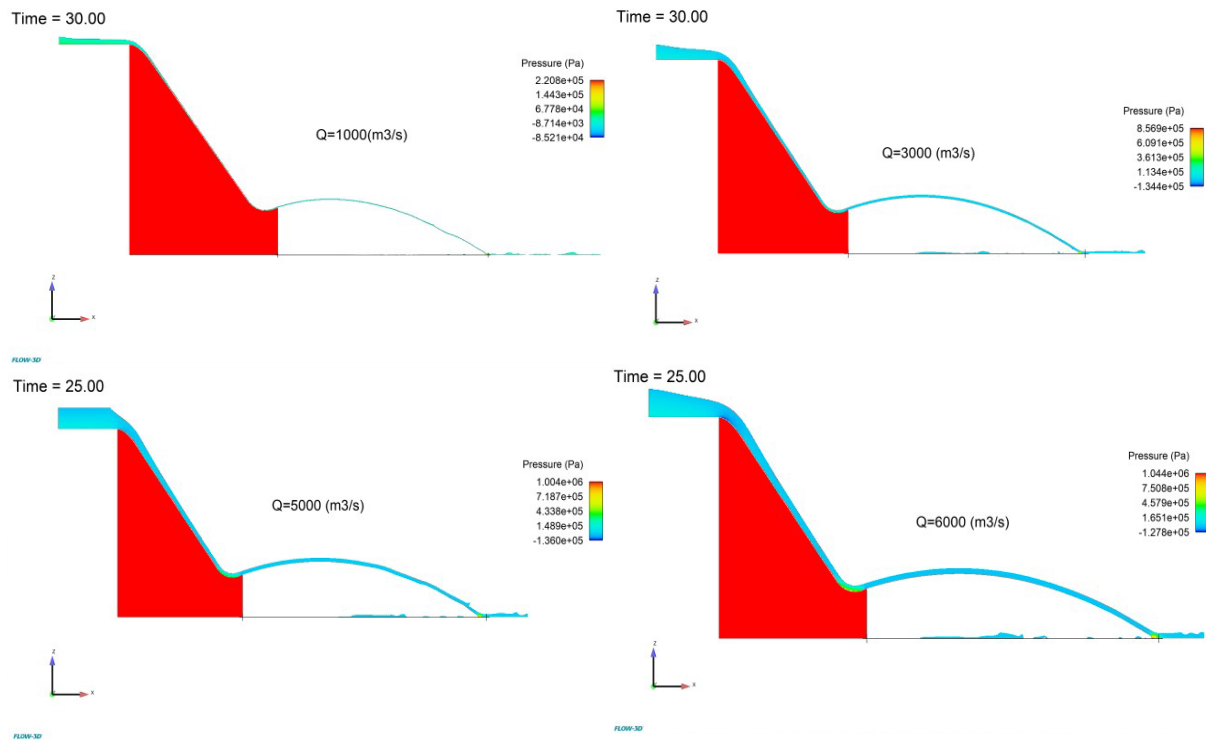


Figure 8. Sample numerical solutions of ski jump jets in prototype scale

3. The Research Findings and Discussion

Experiments were performed for 6 different discharges and measured data is converted to prototype values using Froude similarity as shown in Table 2.

Table 2. Prototype data describing the experimental cases

| Q (m ³ /s) | h (m) | V _j (m/s) |
|-----------------------|-------|----------------------|
| 200 | 0.19 | 27.05 |
| 300 | 0.25 | 31.01 |
| 400 | 0.31 | 33.46 |
| 500 | 0.37 | 35.13 |
| 600 | 0.43 | 36.33 |
| 700 | 0.49 | 37.24 |

Benefiting from the experimental data obtained from the experimental study conducted in METU and calculated data provided by Kawakami [24], necessary data projections are computed depending on the equations and correlation coefficients from the trendlines of the existing data as shown in Figure 6. Discharge values are determined with some intervals from 200 m³/s to 10000 m³/s. Then all required data shown in the Equations 3, 4 and 6 are projected to calculate by empirical equations and to simulate with Flow 3D software [22]. It is possible to calculate the head loss due to air resistance for the higher discharges coming from the flip bucket with the equations obtained from the provided experimental and numerical data. By using all available information given above, head loss due to air resistance is calculated with the given formulas and simulated with the software (Figure 9).

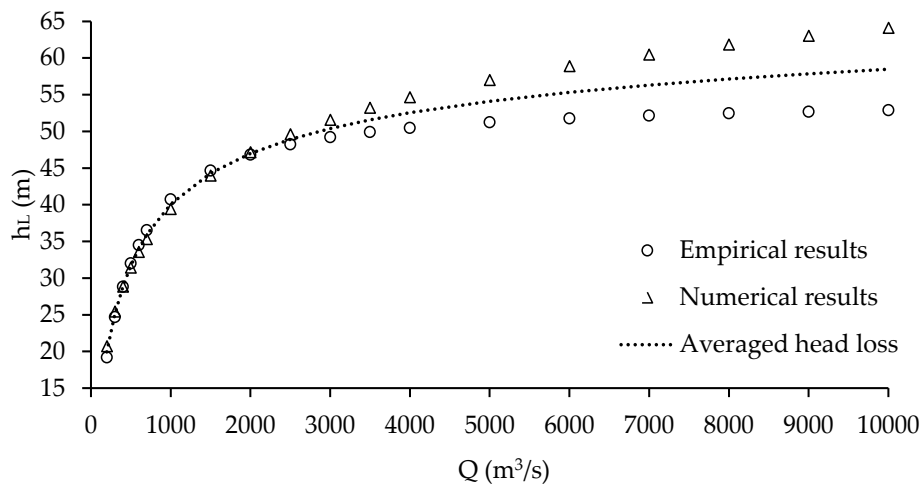


Figure 9. Head loss (energy dissipation) estimation of water jets at prototype scale due to air resistance with respect to discharge

It can be clearly seen from the revealed results in Figure 9 that the amount of energy dissipation is increase up to a certain discharge value and there is no significant increase after this value for both empirical and numerical solutions. It can be said that the energy dissipation (head loss) due to air resistance is stabilized after a certain level.

4. Conclusions

Preventing of scour at the downstream of the dam body and river bed has always been a significant phenomenon for the researchers. This study revealed a novel energy dissipation scale for ski jump jets at prototype level. The scale is obtained by comparing the experimental, empirical and numerical studies. Energy dissipation level can then be calculated by using the equation which is a function of discharge only. As given in Fig. 9, head loss due to air resistance follows a slight increase after a certain discharge level for both empirical and numerical solutions. The thickness of the released water body can cause a prevention of air intrusion into whole water jet. The empirical equation obtained from the average of conducted studies can be given as;

$$h_L = 9.6728 \ln(Q) - 28.417, \quad (13)$$

The regression coefficient, (R^2) of the equation is 0.9848. It should be pointed out that the Equation 13 is only valid for ski-jump jets to estimate the impingement point of the jet and the amount of head loss due to air resistance. The proposed equation can be inspected and validated for other types of energy dissipators by manipulating the required parameters. Although, high energy dissipation levels can be observed for low discharge values, the head loss follows a logarithmic trendline for high discharges (Figure 9). This trend can create a precise calculation opportunity to designers and engineers for design discharges reaching up to 10000 m³/s.

Acknowledgements

This experimental study is conducted on Laleli Dam and Hydroelectric Power Plant model built for DSIM Projects in Middle East Technical University Hydromechanics Laboratory.

References

- [1] Dargahi B. Scour development downstream of a spillway. *Journal of Hydraulic Research* 2003; 41(4):417-426. DOI: 10.1080/00221680309499986.
- [2] Tsen-Ding C. On the Energy Dissipation of High Overflow Dam with Flip Bucket and Estimation of Downstream Local Erosion. *Journal of Hydraulic Engineering* 1963; 2:135-148.
- [3] Laursen EM. An analysis of relief bridge scour. *Journal of the Hydraulics Division* 1963; 89(3): 93-118.
- [4] Melville BW. Local scour at bridge sites. Doctoral dissertation, The University of Auckland, New Zealand 1975; 120-143.
- [5] Raudkivi AJ, Ettema R. Clear-water scour at cylindrical piers. *Journal of Hydraulic Engineering* 1983; 109(3):338-350. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9429(1983)109:3(338).
- [6] Mason PJ, Arumugam K. Free jet scour below dams and flip buckets. *Journal of Hydraulic Engineering* 1985; 111(2):220-235. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9429(1985)111:2(220).
- [7] Movahedi A, Kavianpour MR, Yamini OA. Evaluation and modeling scouring and sedimentation around downstream of large dams. *Environmental Earth Sciences* 2018; 77(8):320. DOI: 10.1007/s12665-018-7487-2.
- [8] Al-Husseini TR, Al-Madhhachi AST, Naser ZA. Laboratory experiments and numerical model of local scour around submerged sharp crested weirs. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences* 2020; 32(3):167-176. DOI: 10.1016/j.jksues.2019.01.001.
- [9] Azmathullah HM, Deo MC, Bhajantri MR, Deolalikar PB. Scour at the base of flip-bucket spillways. *ISH Journal of Hydraulic Engineering* 2004; 10(2):121-129. DOI: 10.1080/09715010.2004.10514759.
- [10] Wu JH, Li SF, Ma F. Energy dissipation of slot-type flip buckets. *Journal of Hydrodynamics* 2018; 30(2):365-368. DOI: 10.1007/s42241-018-0022-9.
- [11] Khalifehei K, Sadeghi-Askari M, Azamathullah H. Experimental investigation of energy dissipation on flip buckets with triangular deflectors. *ISH Journal of Hydraulic Engineering* 2020; 1-7. DOI: 10.1080/09715010.2020.1775716.
- [12] Junrui D, Jitang H, Yichun X, Yongxiang L. Study on the scour of the rocked by plunging jet downstream of the Three Gorges spillway. *Journal of Yangtze River Scientific Research Institute* 1991; 8(2):10-21.
- [13] Azmathullah HM, Deo MC, Deolalikar PB. Estimation of scour below spillways using neural networks. *Journal of Hydraulic Research* 2006; 44(1):61-69. DOI: 10.1080/00221686.2006.9521661.
- [14] Khatsuria RM. *Hydraulics of Spillways and Energy Dissipators*. CRC Press, Taylor & Francis Group, NW 2005; 49-65. ISBN: 0-8247-5789-0
- [15] Fraser CN. Ski-jump energy dissipation: design of a ski-jump to maximise energy dissipation and aeration. Doctoral dissertation, Stellenbosch University, South Africa 2016; 126-135.
- [16] Qian S, Wu J, Ma F. Hydraulic performance of ski-jump-step energy dissipater. *Journal of Hydraulic Engineering* 2016; 142(10):05016004. DOI: 10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0001178
- [17] Moghadam K, Amini M, Malek A, Mohammad MA, Hoseini H. Physical modeling of ski-jump spillway to evaluate dynamic pressure. *Water* 2019; 11(8):1687. DOI: 10.3390/w11081687
- [18] Lauria A, Alfonsi G. Numerical investigation of ski-jump hydraulics. *Journal of Hydraulic Engineering* 2020; 146(4):04020012. DOI: 10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0001718
- [19] Yavuz C. Effect of Water Cushion on Dynamic Pressures at Impingement Area. *Gazi University Journal of Science* 2021; 34:45-52. DOI: 10.35378/gujs.657473
- [20] Aydin I, Göğüş M, Altan-Sakarya AB, Köken M. Laleli Dam and HEPP Spillway Hydraulic Model Studies. Hydromechanics Laboratory, Civil Engineering Department, DSIM Projects, METU, (2012).
- [21] Zwart SD. Scale modelling in engineering: Froude's case, *Philosophy of technology and engineering sciences*. North-Holland, 2009; 759-798. DOI: 10.1016/B978-0-444-51667-1.50032-X
- [22] <https://www.flow3d.com/wp-content/uploads/2019/03/FLOW-3D-v12-0-Install-Instructions.pdf>
Access date: 10.11.2021

- [23] Rehbock T. Discussion of Precise Measurements. ASCE 1929; 93:1143-1162.
- [24] Kawakami K. A study on the computation of horizontal distance of jet issued from ski-jump spillway. In Proceedings of the Japan Society of Civil Engineers 1973; 219:37-44.
- [25] Launder BE, Spalding DB. The numerical computation of turbulent flows. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering 1974; 3(2):269-289. DOI: 10.1016/B978-0-08-030937-8.50016-7
- [26] Wilcox DC. Turbulence modelling for CFD. Journal of Fluid Mechanics 1995; 289:406-407. DOI: 10.1017/S0022112095211388
- [27] Speziale CG. Analytical methods for the development of Reynolds-stress closures in turbulence. Annual Review of Fluid Mechanics 1991; 23:107-157.
- [28] Zhang N, Chato DJ, McQuillen JB, Motil BJ, Chao DF. CFD simulation of pressure drops in liquid acquisition device channel with sub-cooled oxygen. World Academy of Science, Engineering and Technology 2012; 58:1180-1185. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2014.01.035

DETERMINATION OF QUALITY PROPERTIES OF TRADITIONAL ADYAMAN CHEESE PRODUCED FROM SHEEP MILK

Leyla EREN KARAHAN^{1*}, Aslı ÇELİKEL GÜNGÖR², Musa Serdar AKIN³, Mutlu Buket AKIN⁴, Huriye Gözde CEYLAN⁵

¹⁻⁵Adiyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Adiyaman, 02040, Türkiye

²Mardin Artuklu Üniversitesi, Turizm Fakültesi, Gastronomi ve Mutfak Sanatları Bölümü, Mardin, 47200, Türkiye

³⁻⁴Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa, 63050, Türkiye

Geliş Tarihi/Received Date: 12.01.2022 Kabul Tarihi/Accepted Date: 01.03.2022 DOI: 10.54365/adyumbd.1056919

ABSTRACT

In this study, 60 fresh Adiyaman cheeses produced from sheep's milk by traditional method in Adiyaman were collected in April, May, June and July. Physicochemical, textural and microbiological properties of cheese samples were examined. Physicochemical and textural properties of Adiyaman cheeses showed a wide distribution in generally. Dry matter, fat, fat in dry matter, protein, protein in dry matter, hardness, gumminess, cohesiveness, and L* values were 47.49±2.35%, 22.05±2.20%, 19.81±2.85%, 41.75±5.82%, 6047.83±5968.86 g, 5018.91±5151.70, 0.83±0.04, and 88.37±2.35 respectively and the difference between these values of the samples belonging to different months were found significant (p<0.05). The presence of yeast-mold, *Staphylococcus aureus*, coagulase positive *Staphylococcus aureus* (53.33%) and *Escherichia coli* (50%) were determined in Adiyaman cheese, while the presence of *Brucella* spp., *Salmonella* spp., and *Listeria monocytogenes* were not determined.

Keywords: Adiyaman cheese; sheep milk; physicochemical properties; textural properties; microbiological properties

KOYUN SÜTÜNDEN ÜRETİLMİŞ GELENEKSEL ADYAMAN PEYNİRİNİN KALİTE ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

ÖZET

Bu çalışmada Adiyaman ilinde geleneksel yöntemle koyun sütünden üretilen 60 adet taze Adiyaman peyniri Nisan, Mayıs, Haziran ve Temmuz aylarında toplanmıştır. Peynir örneklerinin fizikokimyasal, tekstürel ve mikrobiyolojik özellikleri incelenmiştir. Adiyaman peynirlerinin fizikokimyasal ve tekstürel özellikleri genel olarak geniş bir dağılım göstermiştir. Kurumadde, yağ, kurumaddede yağ, protein, kurumaddede protein, sertlik, sakızimsılık, iç yapışkanlık ve L* değerleri sırasıyla 47.49±2.35%, 22.05±2.20%, 19.81±2.85%, 41.75±5.82%, 6047.83±5968.86 g, 5018.91±5151.70, 0.83±0.04 ve 88.37±2.35 ve farklı aylara ait örneklerin kurumadde, yağ, kurumaddede yağ, protein, kurumaddede protein, sertlik, sakızimsılık, iç yapışkanlık ve L* değerleri arasında görülen fark önemli bulunmuştur (p<0,05). Mikrobiyolojik analizlerde Adiyaman peynirinde maya-küf, *Staphylococcus aureus*, koagulaz pozitif *Staphylococcus aureus* (%53.33) ve *Escherichia coli* (%50) tespit edilirken *Brucella* spp., *Salmonella* spp. ve *Listeria monocytogenes* belirlenmemiştir.

Anahtar Kelimeler: Adiyaman peyniri; koyun sütü; fizikokimyasal özellik; tekstürel özellik; mikrobiyolojik özellik

*e-posta¹ : lkarahan@adiyaman.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0242-0167> (Sorumlu Yazar)

e-posta² : aslicelikel@artuklu.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0583-295X>

e-posta³ : sakin@harran.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7569-1983>

e-posta⁴ : mutluakin@harran.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8307-8521>

e-posta⁵ : hgvildiz@adiyaman.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7363-554X>

1. Introduction

Adiyaman cheese, which is widely consumed especially in the Southeastern Anatolia region, has an important share among traditional cheeses. Raw sheep, cow, goat and/or mixed milks are generally used in the production of Adiyaman cheese, and the cheese curd is pressed on special strainers made of straw. Pressed cheeses are kept in boiled water or whey. Optionally, salt is added to the water or whey at this stage. Cheese can be consumed fresh, as well as matured by dry salting or brine method [1, 2].

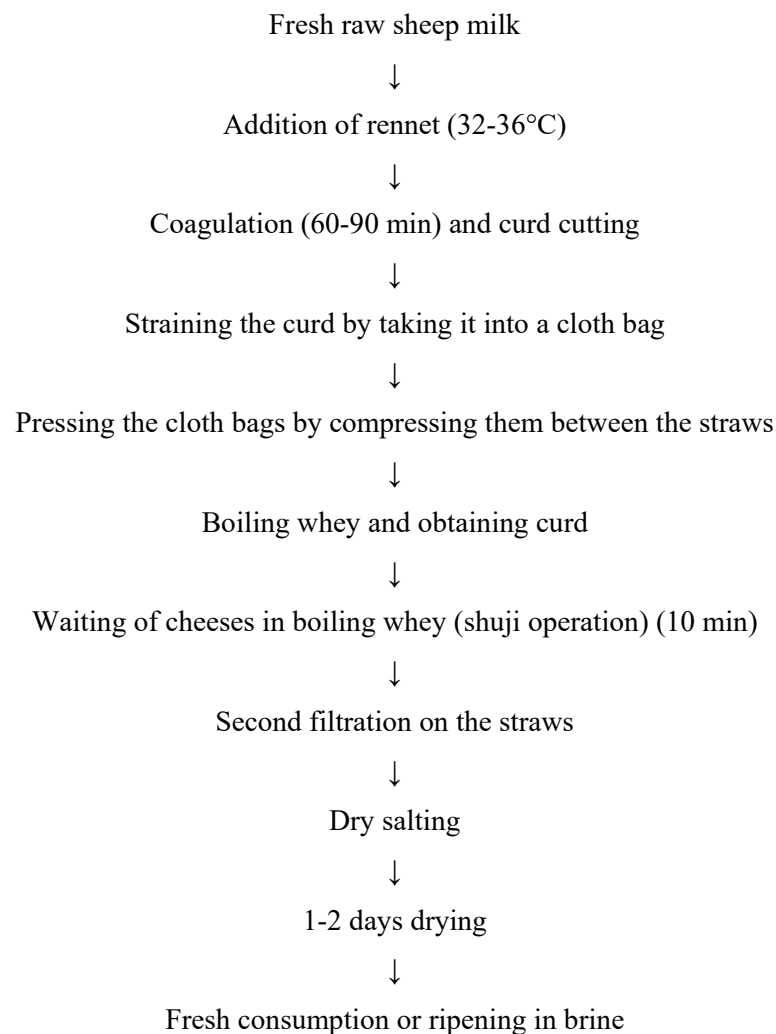


Figure 1. The flow chart of Adiyaman cheese production [2]

The production of Adiyaman cheese (figure 1) is carried out without a standard production method and a significant portion of it is carried out at homes. For this reason, it is important to determine the general composition, quality characteristics and conditions of standard product production of traditional Adiyaman cheese, which is consumed intensively in the region. In addition, the lack of hygienic conditions in the production and storage conditions may cause recontamination and create a risk in terms of public health. In this case, Adiyaman cheese is considered as a dairy product open to microbiological contamination due to its production method and storage conditions.

Traditional cheeses occupy a special place among traditional foods. For this reason, it is important to preserve the characteristic taste-aroma and texture etc. properties of traditional products, to bring

these products to the industry and to standardize their production. Traditional cheeses individually have their unique chemical and sensory qualities, particularly taste, texture and appearance [3]. In addition, seasonal conditions, race, nutrition and feed, which are effective in the composition of milk, affect the properties of cheese [4, 5]. For this reason, various studies have been carried out in recent years to determine the characteristics of traditional cheeses [2, 6, 7].

In our study, the physical, chemical and microbiological properties of Adıyaman cheese produced by the traditional method during the lactation period were investigated. It was aimed to determine the quality characteristics of Adıyaman cheese and to reveal the seasonal differences that may occur in production. Furthermore, it is needed to contribute to the transfer of cheese production to the industry by standardizing it, and to determine the level of good hygiene practice in production. The data obtained in the study is an important resource for industrial production operators, public health officials and other researchers.

2. Materials And Method

In our study, 60 fresh cheese samples produced traditionally from sheep's milk in Adıyaman province were used. Adıyaman cheese is sold fresh in markets without brine. In April, May, June and July, each sample was placed into 500 g sterile jars without brine and brought to the laboratory under cold chain on the same day. The samples taken were subjected to physical, chemical and microbiological analysis. In the study, considering the changes that may occur in the properties of the milk used in cheese production at the beginning and end of the lactation period, the months of March and August during the lactation period were excluded.

2.1. Physicochemical Analysis

The pH values of the cheese samples were determined by using a digital pH meter (Mettler Toledo – even Compact pH meter S210) and the titration acidity values were determined according to the alkali titration method [8], and the titration acidity results were expressed as % lactic acid. Total dry matter content of cheese samples was determined by International Dairy Federation (IDF) [9], ash content by AOAC (Association of Official Analytical Chemist) [10] method, fat content by gerber method [11] and the salt content was determined according to Mohr titration EN ISO 5943 [12]. The total nitrogen (TN) contents of the samples were determined according to the Dumas method [13]; The determined value was multiplied by 6.38 and the percentage of total protein content and the ratio of total protein in dry matter were calculated as % protein content in dry matter. The amount of water-soluble nitrogenous matter in cheese samples was prepared according to Kuchroo and Fox [14] and determined by the Dumas method [13]. The degree of maturation of the samples was determined according to the total nitrogen and the amount of water-soluble nitrogen content [15].

The color characteristics of the cheeses were determined using the Konica minolta (CR-400 chroma meter, Tokyo, Japan) model color analyzer and the CIE (International Commission on Illumination) color measurement system [16].

Texture profile analysis of cheeses using TA-XT2 (Stable Micro Systems Ltd., Surrey, UK) P/36R aluminum cylinder probe (36 mm diameter), load cell 30 kg, test speed 2 mm/sec, pre-test speed 1.0 mm/ sec, post-test speed was 5 mm/sec, the strain was 20%, trigger force was 5 g and waiting time was 5 sec. [17]. The hardness, springiness, gumminess, cohesiveness, adhesiveness, resilience and chewiness properties of the samples were determined.

2.2. Microbiological Analysis

After mixing the cheese sample taken according to TS EN ISO 707 [18], 10 g sample were diluted in 90 ml of 0.1% peptone water (Merck, Germany) for initial dilution, and subsequent decimal dilutions

up to 10^{-6} were prepared with the same diluent and appropriate dilutions were taken and inoculated petri plates prepared for the microorganisms to be investigated.

In order to determine the number of yeast-mold in cheeses, DG-18 agar medium (Merck 1.04092, Germany) was inoculated according to ISO 21527-1 spread plate method [19]. After 5-7 days of incubation at 25° C, the numbers of yeast and mold colonies were determined by counting on plates.

In order to search for *Staphylococcus aureus* in the samples, they were inoculated on Baird-Parker Agar (OXOID CM 0275, UK) by mixing 5% Egg Yolk-Tellurite Emulsion and incubated at 37°C for 24-48 hours under aerobic conditions [20]. After incubation, bright, black colored colonies (positive for tellurite reaction) without halos (atypical) and with a halo around them (positive for egg yolk or lecithinase reaction) were evaluated as (typical) *S. aureus*. Catalase and Microgen Staph Latex Agglutination (Microgen Bioproducts, M43CE) tests were applied to the determined samples, and the number of coagulase positive *S. aureus* on the plates that gave positive results in these tests was determined [21].

The classical culture technique reported in ISO 6579-1 standard was used to search for *Salmonella* spp. in the samples examined in the research [22]. Suspicious colonies were confirmed using the Microgen GN A + B - ID assay kit.

The EN-ISO 11290-1 method was used for the determination and identification of *Listeria monocytogenes* [23]. Suspicious colonies were tested for confirmation using the Microgen Listeria ID Kit. *L. monocytogenes* ATCC 19118 was used as positive control.

The ISO 16649-2 method was used to search for *Escherichia coli* in the samples [24]. *E. coli* (ATCC 25922) for positive control and *S. aureus* (ATCC 25923) for negative control were used in the study.

The presence of *Brucella* spp. in cheese samples was determined using the Brucella coombs gel test along with their titer ratios [25]. Positive samples were identified with the Vitek II System (Vitek-2 Compact, Biomerieux, France).

2.3. Statistical analysis

All data were analyzed with the One-way ANOVA, followed by Tukey's HSD post hoc test using statistical package for social studies software "SPSS" version Statistics 21.0 (IBM SPSS Inc., U.S.A.). Significance differences were determined at 95% significance level.

3. Results and Discussions

3.1. Physicochemical Properties

Physicochemical properties of traditional Adıyaman cheese were shown in Table 1. It was determined that the pH values of the cheese samples were between 5.07 and 7.10 and the titration acidity [lactic acid % (w/w)] values were between 0.05 and 0.69%. It is noted that a significant effect among pH and titration acidity values of the samples examined were not obtained statistically ($p > 0.05$). Keskin and Çelik [26] determined that the pH and acidity values of traditional Leaf cheeses produced from sheep milk are 5.08 and 0.11% respectively. The dry matter content of Adıyaman cheese varied between 43.31% and 70.66%. It was determined that the dry matter content of the samples increased during the lactation period and the difference between the months examined in the study was statistically significant ($p < 0.05$). It is thought that this change in the dry matter content of cheeses is due to the difference in the composition of sheep milk used in production and the lack of a standard production method in cheese production.

Table 1. Physical and chemical properties of Adıyaman cheese (n=15)

| | April | May | June | July |
|---------------------------------|--|---|--|--|
| | Minimum-maximum Mean±std | Minimum-maximum Mean±std | Minimum-maximum Mean±std | Minimum-maximum Mean±std |
| pH | 5.57-7.10 6.12 ±0.39 | 5.64-6.93 6.21±0.36 | 5.07-6.82 6.08±0.51 | 5.62-6.89 6.17±0.45 |
| Acidity (%LA.) | 0.05-0.45 0.17±0.11 | 0.08-0.36 0.22±0.09 | 0.06-0.69 0.25±0.19 | 0.08-0.42 0.21±0.11 |
| Dry matter (%) | 43.31-51.25 47.49±2.35^c | 51.29-53.22 52.16±0.66^b | 53.29-55.09 54.22±0.63^b | 55.39-70.66 61.01±4.14^a |
| Fat (%) | 18.00-26.50 22.05±2.20^c | 20.30-29.30 24.70±2.79^{bc} | 22.00-29.00 26.25±2.03^b | 22.80-37.30 30.57±3.77^a |
| Fat in dry matter (%) | 39.56-54.28 46.42±4.24 | 39.00-55.30 47.32±5.22 | 40.76-53.48 48.35±3.64 | 39.93-55.79 49.97±4.30 |
| Salt (%) | 1.48-7.54 5.10±2.01 | 2.95-9.67 6.31±2.49 | 1.17-10.59 7.11±2.75 | 3.16-9.89 6.96±2.09 |
| Salt in dry matter (%) | 3.21-15.91 10.71±4.13 | 5.61-18.85 12.12±4.83 | 2.20-19.87 13.12±5.10 | 5.46-16.50 11.41±3.45 |
| Ash (%) | 1.80-8.05 5.56±2.04 | 3.37-10.10 6.84±2.53 | 1.61-11.03 7.64±2.78 | 3.64-10.81 7.49±2.14 |
| Total protein (%) | 15.16-24.64 19.81±2.85^b | 16.86-23.70 20.56±2.04^{ab} | 16.76-24.00 20.25±2.13^b | 19.22-25.87 22.78±2.25^a |
| Total protein in dry matter (%) | 32.76-50.42 41.75±5.82^a | 32.66-45.69 39.40±3.76^{ab} | 30.89-43.62 37.56±3.99^b | 30.40-43.48 37.41±3.67^b |
| Water soluble nitrogen (%) | 0.04-0.10 0.06±0.02 | 0.05-0.09 0.06±0.01 | 0.03-0.18 0.07±0.04 | 0.04-0.26 0.08±0.06 |
| Ripening degree | 1.30-4.24 2.06±0.81 | 1.41-3.06 1.96±0.51 | 1.05-6.00 2.17±1.17 | 1.20-6.82 2.28±1.74 |

In studies on Adıyaman cheese, the dry matter amounts of cheese samples were determined as 41.98% and 70.20% in Adıyaman cheese [1, 27]. It was determined that the fat content of cheese samples was between 18.00% and 37.30% and the fat in dry matter content was between 39.00% and 55.79%. While the increase in the amount of fat in cheese samples examined in different months was statistically significant ($p < 0.05$), the change between the amount of fat in dry matter was not significant ($p > 0.05$). Keskin and Çelik [26] determined that the amount of fat and fat in dry matter of traditional leaf cheese produced from sheep milk was 23.14% and 40.73%. It was determined that the amounts of salt, salt in dry matter and ash in Adıyaman cheese samples were between 1.17%-10.59%, 2.20-19.87% and 1.61-11.03%, respectively, and the change in summer and spring months was not significance value statistically ($p > 0.05$). It is thought that the difference in the amount of salt, salt in dry matter and ash in fresh cheese samples depends on the amount of salt added to the boiling water and used in dry salting in the production of Adıyaman cheese during production [1,28]. Özer et al. [29] determined that the amount of salt in dry matter in Urfa cheese was between 13.6 % and 21.1 % and the amount of ash was between 7.52 % and 10.14 %. Turkoglu et al. [30] determined that the salt content of Örgü cheeses was between 3.51 % and 7.31 %. It was determined that the protein and protein in dry matter amounts of Adıyaman cheese were between 15.16% and 25.87%, and 30.40% and 50.42%, and the change in protein and protein in dry matter amounts in summer and spring has significance value statistically ($p < 0.05$). Turkoglu et al. [30] determined that the protein and protein in dry matter value of Urfa cheese was 17.36 % and 46.64 %. It was determined that the amount of water-soluble nitrogen and the degree of maturation of Adıyaman cheese were between 0.03% and 0.26%, and between 1.05 % and 6.82 %. The

changes in the water-soluble nitrogen and maturation degree of the samples in spring and summer were not statistically significant ($p>0.05$). This is thought to be since the cheeses are bought fresh from the enterprises. Özer et al. [29] reported that the ripening index of Urfa cheese produced from sheep milk was 9.5% at the beginning and 22.2% at the end of storage. Canözer and Köse [31] observed that the amount of water-soluble nitrogen in Diyarbakır Örgü cheese produced by traditional and industrial methods was 17.05% and 11.24%. The chemical properties of cheese differ depending on the composition of the raw material used in cheese production, production method, the chemical and microbiological activities occurring in the cheese during production and storage [32-34].

3.2. Cheese Color

It was determined that the L^* , a^* and b^* values of Adıyaman cheese (Table 2) were between 77.48 and 91.91, -9.52 and -0.28 and 13.04 and 40.01, respectively. The difference between the L^* values of cheese samples examined in different months was statistically significant ($p<0.05$), while the difference between a^* and b^* values was statistically insignificant ($p<0.05$). Kahyaoglu et al. [35] determined that the L^* and b^* values of Gaziantep cheeses produced in different oil ratios and boiling degrees were between 84.40-61.54 and 16.54-6.54. Atasoy et al. [36] determined that the L^* , a^* and b^* values of Urfa cheeses with different boiling temperatures and times were between 86.09 and 80.32, -1.50 and -1.11, and 16.23 and 12.35, respectively. Erbay et al. [37] determined that the L^* , a^* and b^* values of Hellim cheese were between 92.2 and 89.1, -0.2 and -3.6, and 20.9 and 15.3, respectively. Color characteristic of cheeses; it may differ depending on the milk used in production, the quality characteristics of the fat phase, the cheese production technique, and the biochemical changes during the ripening period [38, 39].

Table 2. Color characteristics of Adıyaman cheese (n=15)

| | April | May | June | July |
|-------|--|---|---|--|
| | Minimum-maximum Mean±std | Minimum-maximum Mean±std | Minimum-maximum Mean±std | Minimum-maximum Mean±std |
| L^* | 83.69-91.91 88.37±2.35^a | 82.26-91.64 86.64±2.58^{ab} | 77.69-90.95 86.75±3.60^{ab} | 77.48-89.61 85.14±3.46^b |
| a^* | -9.52 - -2.48 -7.18±2.21 | -8.74 - -0.28 -6.08±2.87 | -9.15 - -3.40 -7.09±1.83 | -8.50 - -3.48 -6.14±2.05 |
| b^* | 13.04-30.56 23.72±6.20 | 13.21-32.70 25.00±6.16 | 18.07-33.21 25.07±5.89 | 13.56-40.01 25.71±6.76 |

3.3. Textural Features

The textural properties of the traditional Adıyaman cheese examined in our research are given in Table 3. It was determined that hardness, adhesiveness, resilience, cohesiveness, springiness, gumminess and chewiness values of Adıyaman cheese were between 574.42 g and 29457.80 g, -72.40 g sec. and 0.02 g sec, 0.35 and 0.84, 0.76 and 0.93, 0.87 and 3.57, 488.96 and 23346.58, and 460.36 and 35978.12, respectively. In the studies, it has been reported that hardness, adhesiveness, springiness, cohesiveness, gumminess and chewiness values of Diyarbakır Örgü cheese were 8964 N, -0.57 Ns, 0.82 cm, 0.70, 6333 N and 5246 mJ [40], hardness, resilience, cohesiveness, gumminess and chewiness values of Hellim cheese were between 12.5 kg and 45.2 kg, 0.84 and 0.91, 0.55 and 0.74, 7.9 kg and 30.7 kg, and 6.7 kg and 26.9 kg [37], and hardness, springiness, cohesiveness and gumminess were between 6.9 N and 20.0 N, between 0.78 and 0.98, between 0.73 and 0.96, and between 5.0 N and 19.1 N [35]. It was determined that the difference between hardness, cohesiveness, and gumminess values of Adıyaman cheese was statistically significant ($p<0.05$). It is thought that the change in the hardness

values of the cheeses is due to the difference in the dry matter, salt, and fat amounts of the samples and the different temperatures of curd processing during the production process [41, 42]. In addition, cheese textural properties varied on factors such as the amount of water in the cheese, the amount of calcium, the level of proteolysis, the pH value, the amount of fat, the size and distribution of fat droplets, casein-casein, casein-water, and casein-fat interactions [43-45].

Table 3. Textural properties of Adiyaman cheese (n=15)

| | April | May | June | July |
|-------------------------|--|--|--|---|
| | Minimum-maximum Mean±std | Minimum-maximum Mean±std | Minimum-maximum Mean±std | Minimum-maximum Mean±std |
| Hardness (g) | 716.08-25398.52 6047.83±5968.86^{ab} | 596.46-8456.68 2693.80±1785.52^b | 1699.76-9444.52 4213.29±2411.15^{ab} | 574.42-29457.80 5471.07±8798.31^a |
| Adhesiveness (g.sec) | -72.40-0.02 -16.22±18.58 | -57.37 - -1.07 -13.41±16.60 | -20.42 - -0.14 -6.33±6.37 | -55.36- -0.18 -6.95±15.14 |
| Resilience | 0.35-0.71 0.46±0.11 | 0.38-0.67 0.56±0.09 | 0.36-0.71 0.54±0.11 | 0.37-0.84 0.56±0.12 |
| Cohesiveness | 0.76-0.90 0.83±0.04^b | 0.81-0.93 0.89±0.04^a | 0.77-0.89 0.84±0.03^b | 0.77-0.92 0.85±0.04^b |
| Springiness | 0.93-1.97 1.38±0.40 | 0.94-1.88 1.14±0.35 | 0.92-3.57 1.37±0.77 | 0.87-1.56 1.01±0.18 |
| Gumminess | 653.85-21985.92 5018.91±5151.70^{ab} | 701.40-6859.86 2370.09±1415.36^b | 1421.67-7563.18 3454.31±1945.42^{ab} | 488.96-23346.58 7418.91±7064.21^a |
| Chewiness | 641.15-33678.78 7525.59±8223.98 | 946.03-12887.43 2845.85±2870.64 | 1416.06-15538.95 4558.51±3751.15 | 460.36-35978.12 8557.88±10504.82 |

3.4. Microbiological Properties

Microbiological properties of traditional Adiyaman cheese examined in our study are given in Table 4. It was determined that the number of yeast-molds in the examined cheese samples was between 3.30 log cfu/g and 7.98 log cfu/g, and the change between the yeast and mold numbers of the samples examined in different months were not statistically significant ($p>0.05$). In studies conducted on various cheeses, the yeast-mold count of cheeses were 3.16 log cfu/g in Hellim cheese [46], 2.63 log cfu/g in Diyarbakır Örgü Cheese [40], and 6.67 log cfu/g in Adiyaman cheese [1].

In the microbiological examination of the cheeses, it was determined that the count of *S. aureus* in the cheese samples was between <1.00 log cfu/g and 6.26 log cfu/g, and the change between *S. aureus* counts of the cheeses examined in different months was not statistically significant ($p>0.05$). Yalçın et al. [47] detected the presence of *S. aureus* in 20 of the Urfa cheese they examined in their study and reported that the amount was between <1.0 and 5.51 log cfu/g. In the microbiological analysis, coagulase-positive *S. aureus* was determined in 58 cheese samples, and the count of coagulase-positive *S. aureus* in the samples was found between 1.70 log cfu/g and 6.26 log cfu/g. The difference between the coagulase-positive *S. aureus* count of cheese samples analyzed in different periods was not significant ($p>0.05$). In the study, it was determined that the coagulase-positive *S. aureus* counts of 32 of the cheese samples were over 10^3 cfu/g. Gürbüz et al. [48] found that 25 of 106 cheese samples produced from raw milk had coagulase-positive *S. aureus*. It is thought that the use of raw milk in cheese production, the lack of attention to hygiene and sanitation rules by the producer and the seller, the lack of use of starter culture in production, and the dominant flora is not capable of preventing bacterial growth may cause the high count of *S. aureus* and coagulase-positive *S. aureus* in the samples [49].

Table 4. Microbiological analysis results of Adıyaman cheese

| | April | | May | | June | | July | |
|---|-------|---------------------------------|-----|---------------------------------|------|---------------------------------|------|---------------------------------|
| | n | Minimum- maximum Mean±std | n | Minimum- maximum Mean±std | n | Minimum- maximum Mean±std | n | Minimum- maximum Mean±std |
| Maya Küf (log cfu/g) | 15 | 4.95-7.08 6.14±0.68 | 15 | 3.60-7.98 6.20±1.20 | 15 | 4.87-7.88 6.44±0.87 | 15 | 3.30-7.90 6.15±1.35 |
| <i>Staphylococcus aureus</i> (log cfu/g) | 15 | 1.85-5.18 3.30±1.15 | 15 | <1.00-5.11 3.15±1.34 | 15 | <1.00-4.72 3.29±1.28 | 15 | 1.70-6.26 3.22±1.13 |
| <i>Coagulas- positive</i> | | | | | | | | |
| <i>Staphylococcus aureus</i> (log cfu/g) | 15 | 1.85-5.18 3.30±1.15 | 14 | 1.85-5.11 3.37±1.06 | 14 | 1.90-4.72 3.52±0.94 | 15 | 1.70-6.26 3.22±1.13 |
| <i>Escherichia coli</i> (log cfu/g) | 14 | 1.30-5.08 3.20±1.09 | 13 | 2.60-4.59 3.59±0.79 | 12 | 1.30-5.30 3.38±1.19 | 12 | 1.30-4.85 3.13±0.97 |
| <i>Salmonella</i> spp. | 15 | - | 15 | - | 15 | - | 15 | - |
| <i>Listeria monocytogenes</i> | 15 | - | 15 | - | 15 | - | 15 | - |
| <i>Brusella</i> spp. | 15 | - | 15 | - | 15 | - | 15 | - |

(-) : not detected

The presence of *E. coli* was detected in 85% of Adıyaman cheeses examined in the study. It was determined that the count of *E. coli* in Adıyaman cheeses was between 1.30 log cfu/g and 5.30 log cfu/g, and the count of *E. coli* in 30 of the cheese samples was above the limits specified in the regulation. In the cheeses examined in our study, the presence of *E. coli* was determined throughout the entire period, and the highest value was determined in June. Vural et al. [50] determined the presence of *E. coli* in 65.21% of the Örgü cheese samples, Costanzo et al. [51] in 8.16% of the cheeses produced from raw milk, and Soria-Herrera et al. [52] in 38.33% of the unpasteurized cheese samples. The number of *E. coli* detected in Adıyaman cheese is quite high compared to other studies and considering that the diseases that may be caused by *E. coli* pathogenic strains, Adıyaman cheese may pose a risk in terms of public health.

L. monocytogenes was not found in the cheese samples examined in our study. In the other studies, *L. monocytogenes* was detected in 15.6% of Irish farm cheese samples taken from different production stages [53] and in 1.4% of Norwegian cheese produced from raw milk [54]. Costanzo et al. [51] did not detect the presence of *L. monocytogenes* in 245 cheese samples produced from raw milk. In our study, the absence of *L. monocytogenes* in Adıyaman cheese is thought to be due to the endogenous microbiota of raw milk [55], which has an inhibitory effect on *L. monocytogenes* or applying a boiling process during production.

In the cheese samples examined in our study, *Salmonella* spp. was not detected. The result obtained from the study is similar to other studies on Urfa cheese [56], Örgü cheese [50] and Mozzarella cheese [57].

In our study, the presence of *Brucella* spp. was not detected in the cheese samples were examined. In other studies, the presence of brucellosis was detected in 22.93% of traditional cheeses produced from raw sheep and goat milk in Iran [58], while the presence of brucellosis was not detected in cheeses produced from raw sheep and goat milk in Niğde [59]. The development of pathogens in cheese production may depend on the acidification speed of the curd, the pH of the final product, the temperature and duration of the heat treatment applied to the curd, the presence of natural protection systems such as lactoperoxidase, lysozyme, and lactoferrin [60] and bacteriocins or bacteriocin-like compounds produced by lactic acid bacteria [61].

It is thought that the absence of pathogenic bacteria such as *Brucella* spp., *Salmonella* spp. and *L. monocytogenes* in our study may be due to the heat treatment applied to the curd in the cheese production technique [62, 57].

4. Conclusion

Although there are many traditional cheese types in Türkiye, the production of some of them in small businesses using non-standardized production techniques may cause the loss of the unique characteristics of traditional cheeses. In addition, in the Eastern and Southeastern Anatolia regions where small cattle breeding is common, the use of raw milk from sheep, goats, and cows in the production of traditional cheese poses a risk to public health. In our study, the physicochemical and textural properties of Adıyaman cheeses, which were examined in different months, showed a wide distribution in general and the difference between the dry matter, fat, fat in dry matter, protein, protein in dry matter, hardness, gumminess, cohesiveness, and L^* values of cheeses have significance value. This situation underlines the necessity of standardizing the production of Adıyaman cheese, which is among our traditional products and widely consumed. Yeast-mold, *S. aureus*, coagulase-positive *S. aureus* and *E. coli* amounts were found higher in Adıyaman cheese samples compared to other studies. Although pathogenic microorganisms such as *Brucella* spp., *Salmonella* spp. and *L. monocytogenes* were not detected in cheese in our study, the amount of coagulase-positive *S. aureus* in 53.33% and *E. coli* in 50% of the tested cheeses exceeded the limits set in the Microbiological Criteria Regulation of the Turkish Food Codex. Compared to other studies, the high microbial load in the studied cheese samples could be an indication that insufficient importance is given to the hygiene and sanitation practices required in food production. For this reason, heat treatment at appropriate time and temperature in the production of Adıyaman cheese produced from raw milk and attention to good hygiene practices in production are important in preventing the development of microorganisms that pose a threat to public health. Standardizing the production process of traditional Adıyaman cheese provides preserving the characteristic features of cheeses such as unique taste, smell, aroma, and texture, preventing risk factors for human health, and reducing economic losses. For this reason, studies should be carried out to awareness-raising of traditional producers on this issue. It is thought that the data obtained in our study will be a source for public health authorities, industrial food producers, and new studies to be done.

Acknowledgements

This work has been supported by Adıyaman University Scientific Research Projects Coordination Unit under grant number MÜFMAP/2019-0001. Thank you to Adıyaman Directorate of Provincial Agriculture and Forestry for their cooperation.

Conflict Of Interest

The authors declare that they have no conflict of interest.

References

- [1] Ceylan HG, Demir T, Kurt Ş. Geleneksel olarak üretilen Adıyaman peynirinin bazı fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik özelliklerinin belirlenmesi, ADYÜTAYAM 2019; 7(1): 1-13.
- [2] Akin MB, Akin MS. Traditional cheeses in Southeastern Anatolia Region in Turkey. In: Traditional cheeses from selected regions in Asia, Europe, and South America. Edited by Celile Aylin Oluk, Oya Berkay Karaca, Bentham Science Publishers Pte. Ltd. Singapore: 2020. ISBN (Online): 978-981-14-3236-1; ISBN (Print): 978-981-14-3235-4. pp. 231-253.
- [3] Gezginç Y, Köksalan E. Kahramanmaraş Parmak peynirinden izole edilen *Lactobacillus plantarum*'ların PCR tekniği ile belirlenmesi. In: III. Geleneksel Gıdalar Sempozyumu, 10-12 May, Konya; 2012: 435-437.

- [4] Karabay Öcal P, Öztürk D. Laktasyon boyunca farklı kaba yemlerin Toros alaca keçilerinde yem tüketimi, süt verimi ve kompozisyonu üzerine etkileri. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi 2007; 10(2): 138-143.
- [5] Metin M. Süt teknolojisi sütün bileşimi ve işlenmesi (7.Baskı). Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları No:33, Bornova, İzmir: 2008.
- [6] Campos GZ, Lacorte GA, Jurkiewicz C, Hoffmann C, Landgraf M, de Melo Franco BDG, Pinto UM. Microbiological characteristics of Canastra cheese during manufacturing and ripening. Food Control 2021; 121: 107598.
- [7] Álvarez S, Fresno M. Effect of the ripening period and intravarietal comparison on chemical, textural and sensorial characteristics of Palmero (PDO) goat cheese. Animals 2021; 11(1): 58.
- [8] Kurt A, Çakmacı S, Çağlar A. Süt ve mamülleri muayene ve analiz metotları rehberi. Atatürk Üniversitesi Yayınları: 2007.
- [9] IDF. Determination of the total content (Cheese and Processed Cheese). IDF Standard 4A, International Dairy Federation, Brussels, Belgium; 1982.
- [10] AOAC. Official methods of analysis of AOAC International: 4th revision. 16th ed. Arlington, Va.: Assoc of Official Analytical Chemists Intl;1998.
- [11] Kotterer R, Münch S. Untersuchungsverfahren für das Milchwirtschaftliche Laboratorium. Volkswirtschaftliche Verlag GmbH, München; 1978.
- [12] TS EN ISO 5943: Peynir ve eritme peynir ürünleri- Klorür miktarı tayini potansiyometrik titrasyon metodu, Türk Standardları Enstitüsü. 2007.
- [13] Wiles PG, Gray IK, Kissling RC, Collaborators. Routine analysis of proteins by kjeldahl and dumas methods: Review and interlaboratory study using dairy products. Journal of AOAC International 1998; 81(3): 620–632.
- [14] Kuchroo CN, Fox PF. Soluble nitrogen in Cheddar cheese: comparison of extraction procedures. Milchwissenschaft= Milk science international 1982; 37: 331.
- [15] Alais C. Science du lait: principes des techniques laitières. 1984.
- [16] Carochi M, Barros L, Barreira JCM, Calhêla RC, Soković M, Fernández-Ruiz V, Buelga CS, Morales P, Ferreira ICFR. Basil as functional and preserving ingredient in “Serra da Estrela” cheese. Food Chemistry 2016; 207: 51-59.
- [17] Eren Karahan L. Farklı oran ve üretim aşamalarında mikrobiyal transglutaminaz ilavesinin yarım yağlı beyaz peynirin özellikleri üzerine etkileri. PhD Thesis. Şanlıurfa: Harran Üniversitesi, 2016.
- [18] TS EN ISO 707: Milk and milk products guidance on sampling quality. Türk Standardları Enstitüsü Yayınları. 2009.
- [19] TS ISO 21527-1: Microbiology of food and animal feeding stuffs-Horizontal method for the enumeration of yeasts and moulds—Part 1: Colony count technique in products with water activity greater than 0.95. Türk Standardları Enstitüsü. 2014.
- [20] ISO 6888-3: Microbiology of food and animal feeding stuffs-Horizontal method for the enumeration of coagulase-positive staphylococci (*Staphylococcus aureus* and other species)-Part 3: Detection and MPN technique for low numbers, International Standard. The International Organization for Standardization. 2003.
- [21] Sancak H, İşleyici Ö, Sağun E, Ekici K, Başat DBD, Sancak YC. Tatvan’da tüketime sunulan tavuk dönerlerin mikrobiyolojik kalitesi. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 2020; 9(4): 1514-1526.
- [22] ISO 6579-1: Microbiology of the food chain- Horizontal method for the detection, enumeration and serotyping of *Salmonella*- Part 1: Detection of *Salmonella* spp. The International Organization for Standardization. 2017.
- [23] ISO 11290-1: Microbiology of food and animal feeding stuffs- Horizontal method for the detection and enumeration of *Listeria Monocytogenes*- Part 1: Detection method. The International Organization for Standardization. 2017.
- [24] ISO 16649-2: Microbiology of food and animal feeding stuffs- Horizontal method for the enumeration of beta-glucuronidase-positive *Escherichia coli*- Part 2: Colony-count technique at 44 degrees C using 5-bromo-4-chloro-3-indolyl beta-D-glucuronide. 2001.

- [25] Kalem F, Ergün A G, Durmaz S, Doğan M, Ertuğrul Ö, Gündem S. Comparison of a new and rapid method: Brucella coombs gel test with other diagnostic tests. *Journal of Clinical Laboratory Analysis* 2016; 30: 756-759.
- [26] Keskin B, Çelik Ş. Geleneksel Yaprak peynirinin bazı karakteristik özellikleri. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi* 2021; 24(1): 146-155.
- [27] Akın MS, Guler-Akın MB, Dolek P. Adıyaman Şuji peynirlerinin kimyasal ve bazı mikrobiyolojik özelliklerinin belirlenmesi üzerine bir araştırma. In: *The First International Symposium on Traditional Foods from Adriatic to Caucasus*, 15-17 April, Tekirdağ; 2010; 268-70.
- [28] Uludağ G. Yöresel Adıyaman peynirinin kimi özelliklerinin belirlenmesi üzerine bir araştırma. Msc Thesis. *Kahramanmaraş: Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi*; 2015.
- [29] Özer B, Atasoy F, Akın S. Some properties of Urfa cheese (a traditional white-brined Turkish cheese) produced from bovine and ovine milks. *International Journal of Dairy Technology* 2002; 55(2): 94-99.
- [30] Türkoğlu H, Ceylan ZG, Dayisoğlu KS. The microbiological and chemical quality of Örgü cheese produced in Turkey. *Pakistan Journal of Nutrition* 2003; 2(2): 92-94.
- [31] Canözer C, Köse Ş. Comparison of some characteristic properties of Diyarbakır Örgü cheese produced by traditional and industrial method. *Food Science and Technology* 2021. Doi:10.1590/fst.16921
- [32] Koyuncu M, Tunçtürk Y. Determination of some quality parameters of White cheeses produced from different animal milks during storage. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2020; 10(3): 662-674.
- [33] Mohamed OAE, El Zubeir IEYM. Comparative study on chemical and microbiological properties of white cheese produced by traditional and modern factories. *Annals of Food Science and Technology* 2018; 19(1): 111-120.
- [34] Çelik Ş, Uysal Ş. Beyaz peynirin bileşim, kalite, mikroflora ve olgunlaşması. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 2009; 40(1): 141-151.
- [35] Kahyaoglu T, Kaya S, Kaya A. Effects of fat reduction and curd dipping temperature on viscoelasticity, texture and appearance of Gaziantep cheese. *Food Science and Technology International* 2005; 11(3): 191-198.
- [36] Atasoy AF, Hayaloglu AA, Ceylan HG, Çiçek M. Effects of scalding parameters and ripening on the chemical, textural and microstructural properties of Urfa cheese. *Journal of Agricultural Sciences* 2021; 27(2): 155-163.
- [37] Erbay Z, Koca N, Üçüncü, M (2010). Hellim peynirinin bileşimi ile renk ve dokusal özellikleri arasındaki ilişkiler. *Gıda* 2010; 35(5): 347-353.
- [38] Saldo J, Sendra E, Guamis B. Colour changes during ripening of high pressure treated hard caprine cheese. *International Journal of High Pressure Research* 2002; 22(3-4): 659-663.
- [39] Yaman H, Sarica E, Coşkun H. A comparative study on the effect of high hydrostatic pressure on ripening of Turkish White cheese from different milk species. *Italian Journal of Food Science* 2020; 32(3).
- [40] Hatipoğlu A, Çelik Ş. Geleneksel Diyarbakır Örgü peynirinin tekstürel özellikleri ve mikrobiyal florasının depolama periyodu boyunca değişimi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2020; 24(3): 609-617.
- [41] Kaya S. Effect of salt on hardness and whiteness of Gaziantep cheese during short-term brining. *Journal of Food Engineering* 2002; 52(2): 155-159.
- [42] Kahyaoglu, T, Kaya, S. Effects of heat treatment and fat reduction on the rheological and functional properties of Gaziantep cheese. *International Dairy Journal* 2003; 13(11): 867-875.
- [43] Lagoueyte N, Lablee J, Lagaude A, de La Fuente BT. Temperature affects microstructure of renneted milk gel. *Journal of Food Science* 1994; 59(5): 956-959.
- [44] Serrano J, Velazquez G, Lopetcharat K, Ramirez JA, Torres JA. Moderately high hydrostatic pressure processing to reduce production costs of shredded cheese: microstructure, texture, and sensory properties of shredded milled curd cheddar. *Journal of Food Science* 2005; 70(4): S286-S293.
- [45] Everett DW, Auty MAE. Cheese structure and current methods of analysis. *International Dairy Journal* 2008; 18(7): 759-773.

- [46] İncili GK, Alan S, Mutlu M, Aydemir ME, Öksüztepe G. Elazığ'da satılan Hellim peynirlerinin mikrobiyolojik ve kimyasal kalitesi. *Harran Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi* 2019; 8(2): 139-146.
- [47] Yalçın S, Ardiç M, Nizamlıoğlu M. Urfa peynirinin bazı kalite nitelikleri. *Atatürk Üniversitesi Veteriner Bilimleri Dergisi* 2007; 2(3): 95-90.
- [48] Gürbüz S, Keskin O, Erdenliğ Gürbilek S, Tel OY, Yiğın A, Demirci M, Demir C, Hassan H. Presence of *Staphylococcus aureus*, staphylococcal enterotoxins and antimicrobial resistance in traditionally produced raw milk cheeses. *Arch Lebensmittelhyg* 2018; 69: 171–176.
- [49] Baran A, Erdogan A, Turgut T, Adıgüzel M. A review on the presence of *Staphylococcus aureus* in cheese. *Turkish Journal of Nature and Science* 2017; 6(2): 100-105.
- [50] Vural A, Erkan ME, Guran HŞ. The examination of the microbiologic quality in Örgü cheese (braided cheese) samples. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi* 2010; 16: S53-S58.
- [51] Costanzo N, Ceniti C, Santoro A, Clausi MT, Casalnuovo F. Foodborne pathogen assessment in raw milk cheeses. *International Journal of Food Science* 2020; 1-5.
- [52] Soria-Herrera RJ, Dominguez-Gonzalez KG, Rumbo-Pino R, Piña-Lazaro A, Alvarez-Perez JJ, Rivera-Gutiérrez S, Ponce-Saavedra J, Ortíz-Alvarado R, Gonzalez-Y-Merchand JA, Yahuaca-Juárez B, Cerna Cortes JF. Occurrence of Nontuberculous *Mycobacteria*, *Salmonella*, *Listeria monocytogenes* and *Staphylococcus aureus* in Artisanal Unpasteurized Cheeses in the State of Michoacan, Mexico. *Journal of Food Protection* 2020; 84 (5), 760–766.
- [53] Fox E, Hunt K, O'Brien M, Jordan K. *Listeria monocytogenes* in Irish farmhouse cheese processing environments. *International Journal of Food Microbiology* 2011; 145: 39-45.
- [54] Jakobsen RA, Heggebø R, Sunde EB, Skjervheim M. *Staphylococcus aureus* and *Listeria monocytogenes* in Norwegian raw milk cheese production. *Food Microbiology* 2011; 28(3): 492-496.
- [55] Maffre A, Schvartzman MS, Sanaa M, Butler F, Tenenhaus-Aziza F, Jordan K. Modelling the fate of *Listeria monocytogenes* during manufacture and ripening of smeared cheese made with pasteurised or raw milk. *International Journal of Food Microbiology* 2011; 145: 31–38.
- [56] Durmaz H, Ardiç M. An Investigation on the presence of *Salmonella* spp. in raw cow milk and Urfa cheese sample. *Van Veterinary Journal* 2017; 28(3): 141-144.
- [57] Tripaldi C, Palocci G, Di Giovanni S, Marri N, Boselli C, Giangolini G, Amatiste S. Microbiological and chemical characteristics of pasta filata type cheese from raw ewe milk, using thermophilic and mesophilic starters. *Arch Lebensmittelhyg* 2018; 69: 123-129.
- [58] Marouf AS, Hanifian S, Shayegh J. Prevalence of *Brucella* spp. in raw milk and artisanal cheese tested via real-time qPCR and culture assay. *International Journal of Food Microbiology* 2021; 347: 109-192.
- [59] Karadal F, Ertaş Onmaz N, Bağcı C, Yıldırım Y, Al S. Abay S. Niğde ilinde satışa sunulan koyun-keçi sütü ve peynirlerinde *Brucella melitensis* ve biyotiplerinin araştırılması. *Erciyes Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi* 2016; 13(2): 101-108.
- [60] Fox PF, Kelly AL. Indigenous enzymes in milk: Overview and historical aspects—Part 2. *International Dairy Journal* 2006; 16(6): 517–532.
- [61] Elotmani F, Revol-Junelles AM, Assobhei O, Millièrè JB. Characterization of anti-*Listeria monocytogenes* bacteriocins from *Enterococcus faecalis*, *Enterococcus faecium*, and *Lactococcus lactis* strains isolated from raïb, a Moroccan traditional fermented milk. *Current Microbiology* 2002; 44(1): 10–17.
- [62] Canales IC, Simental SS, Contreras IÁ, Mateo J. Thermal inactivation of *Escherichia coli* and coliform in Oaxaca cheese curd during a simulated kneading process. In *Current Research Topics In Applied Microbiology And Microbial Biotechnology* 2009; 412-415.

THEORETICAL EXAMINATION OF ALTERNATIVE REFRIGERANTS FOR R410A IN A GROUND SOURCE HEAT PUMP ACCORDING TO ASHRAE CLASSIFICATION

Abdullah KAPICIOĞLU*

¹Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, Sivas, 58140, Türkiye

Geliş Tarihi/Received Date: 24.11.2021 Kabul Tarihi/Accepted Date: 25.01.2022 DOI: 10.54365/adyumbd.1028038

ABSTRACT

Today, environmental pollution and global warming have become global threats. The use of renewable energy sources is a rational approach to overcome this problem, and ground source heat pumps also play an important role in this approach. However, the refrigerants used in these systems often have global warming potential values above the specified norms. In this study, using the Engineering Equation Solver package program, the performance values and environmental effects of R410A alternative refrigerants were analyzed theoretically according to ASHRAE safety groups with the help of the data obtained from the experimental study. The results showed that the R32 increases the COP value by 3.1% and reduces the mass flow rate by nearly 35%. It has been calculated that R152a provides the most successful results in the study. R152a provided an 8.5% increase in COP compared to R410A. It has been observed that the operating costs of R452B, R454B and R454C, which are specified as alternative refrigerants by environmental protection agency, are higher than R410A. In the study, it was determined that the R454C has the lowest values in all respects. It has been calculated that using R32 instead of R410A reduces the CO₂ equivalent emissions by approximately 2.54%.

Keywords: Heat pumps, Ground-source heat pump, R410A, Alternative refrigerants, GWP, First law analysis, COP

TOPRAK KAYNAKLI BİR ISI POMPASINDA R410A'YA ALTERNATİF SOĞUTUCU AKIŞKANLARIN ASHRAE SINIFLANDIRMASINA GÖRE TEORİK OLARAK İNCELENMESİ

ÖZET

Günümüzde çevre kirliliği ve küresel ısınma global bir tehdit haline gelmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı bu sorunun üstesinden gelmek için akılcı bir yaklaşımdır ve toprak kaynaklı ısı pompaları da bu yaklaşımda önemli bir yer tutmaktadır. Fakat bu sistemlerde kullanılan soğutucu akışkanlar çoğunlukla belirlenen normların üzerinde küresel ısınma potansiyeline sahiptir. Bu çalışmada Engineering Equation Solver paket programı kullanılarak R410A alternatif soğutucu akışkanların performans değerleri ve çevresel etkileri deneysel çalışmadan elde edilen veriler yardımıyla ASHRAE güvenlik gruplarına göre teorik olarak analiz edilmiştir. Sonuçlar R32'nin, COP değerini %3.1 artırdığını, kütesel debiyi %35'e yakın düşürdüğünü göstermiştir. Ayrıca çalışmada R152a'nın en başarılı sonuçları sağladığı hesaplanmıştır. R152a, R410A'ya kıyasla COP'ta %8,5'lik bir artış sağlamıştır. Çevre Koruma Ajansı tarafından alternatif soğutucu akışkan olarak belirtilen R452B, R454B ve R454C'nin işletme maliyetlerinin R410A'dan daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Çalışmada R454C'nin her açıdan en düşük değerlere sahip olduğu belirlenmiştir. R410A yerine R32 kullanılmasının CO₂ eşdeğeri emisyonlarını yaklaşık %2.54 oranında azalttığı hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Isı pompası, Toprak kaynaklı ısı pompası, R410A, Alternatif soğutucu akışkanlar, GWP, Birinci kanun analizi, COP.

* e-posta: akapicioğlu@cumhuriyet.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2982-0312>

1. Introduction

The use of renewable energy sources is an appropriate solution to increase the percentage of energy production and prevent climate change [1]. However, as the use of renewable energy sources is still at limited levels, measures to limit energy consumption are widely applied. Due to important parameters such as cooling and heating load, electricity consumption and external design conditions, which affect the energy consumption of residential conditioning systems, their application varies in each region [2]. Taking advantage of renewable energies in these and similar applications is a rational approach to minimize the effects on the environment. The source of energy mainly used in heating and cooling systems is based on fossil fuels and the related source plays an important role in the increase of global warming.

Ground source heat pump (GSHP) systems, which use the heat under the ground, which is one of the environmental approaches, is one of the topics that have been extensively researched [3–7]. GSHP systems are implemented in two basic installation types, horizontally and vertically, according to the ground heat exchanger (GHE) design. Horizontal GHE is lower in both cost and performance compared to vertical GHE and requires more installation space than vertical GHE. Basically, a GSHP system consists of a heat pump, underfloor heating circuit (or fan unit) and GHE. The thermal energy of the soil is transmitted to the liquid circulating in the soil heat exchanger; this energy is then drawn in and amplified by the heat pump to be delivered to the building via a distribution system such as fan coil units. The system is reversed in the summer and gives off heat to the ground to cool the building. Many scholars have investigated the thermal performance of the GSHP system, either with analytical approaches, experimental methods or semi-analytical solutions combined with numerical methodology [8–10]. However, these studies are commonly associated with GHE performance. Optimization of the components used in these systems and making them compatible with environmental norms is as important as the performance increase expected from the systems. Therefore, minimizing the effects of gases used as the refrigerant in these systems on global warming is of vital importance. In addition to different factors, the effect of hydrofluorocarbon (HFC) refrigerants used in these systems on global warming is quite high. Therefore, EURO-F gas regulations, Montreal protocol and Kyoto protocol have imposed significant restrictions on refrigerants with high global warming potential (GWP) [11,12]. The most widely used HFC refrigerant today is R410A, which is formed by mixing R-32 and R125 in equal proportions. In addition, R404A with a very high GWP value (3992) continues to be used by the heat pump industry despite all warnings.

With the EURO-F gas regulation, significant restrictions have been imposed on refrigerants with a GWP value of 2500 and above as of January 1, 2020. In addition, the prohibition of the use of refrigerants with a GWP value of more than 750 for single split air conditioning systems containing less than 3 kg of refrigerant has been included in the same regulation as of 2025 [13]. For low-capacity air conditioning, heating and cooling systems, options with low GWP, especially refrigerants with similar volumetric capacity to R410A, are limited, and defined refrigerants with a successful coefficient of performance (COP) value and low toxicity are at least slightly flammable [14]. The most important alternative to R410A is the R32, which has a one-third lower GWP and low environmental impact and R32 is an option for replacing R410A in residential conditioning systems [15]. Although R32 was not considered as an alternative in the past because it was classified as slightly flammable compared to R410A and offered higher compressor discharge pressures, R32 is now being re-evaluated due to its low GWP value and good system performance [16,17], [18]. However, many factors such as environmental impacts, safety aspects, applicability and energy efficiency of refrigerants that are planned to be used in place of high GWP refrigerants such as R410A and R404A should be comprehensively considered. Various studies have shown that the heat pump using R32 shows a superior heating capacity and performance at low outdoor temperatures compared to the system using R410A, thanks to its high compressor frequency under harsh weather conditions [19–22]. Pham and Rajendran [23] reviewed the R410A replacement with R32 by compiling test results and safety reviews and concluded that R32 could be presented as the first candidate for the HFC phased plan. In addition, in other studies, R32 is shown

as one of the best alternatives to R410A [22,24]. The environmental protection agency (EPA) has classified the R32 as acceptable for use in heat pumps [25].

As it is known, the refrigerants are divided into different safety groups by ASHRAE according to their ignition and toxicity values (Fig. 1). In the safety groups, R32 is in the group as A2L and ASHRAE defines R32 as a slightly flammable refrigerant [16]. Contrary to popular belief, this group classified as slightly flammable does not ignite with a heat source such as a lighter in case of leakage [26]. In addition, studies investigating the leakage status of R32 showed that in the event of a possible leak, the flammable zone was only seen near the leak hole and the duration of the flammable zone was very short [27] and there was no flame spread even if the leak covered the entire room [28]. From the study results one can conclude that the fire risk of R32 is very low under general operating conditions. In addition, R32 offers a lower flammability and lower cost than hydrocarbons (R290 etc.) [17].

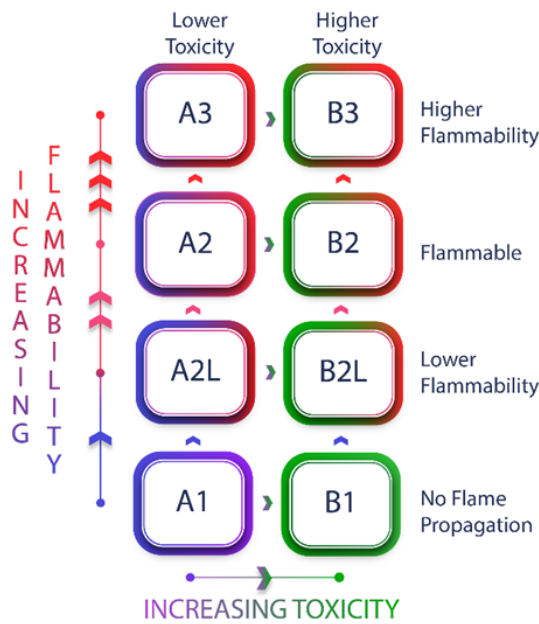


Figure 1. Safety groups of refrigerants according to ASHRAE.

The performance of R32 has been researched and optimized for residential conditioning applications in the literature. In an experimental comparison of R32 and R410A in a vapor-injected heat pump system, it was calculated that R32 could increase the COP and capacity by 9% and 10%, respectively [24]. It is also stated that in an air-to-water reversible unit, R32 increases system efficiency by 7% compared to R410A [29]. Barve et al. [30] stated that R32 has a higher COP than R410A. Mota-Babiloni et al. [31] conducted a comprehensive review of the reasons for the adoption of R32 in residential conditioning systems, especially in the European and US market, and cited the following findings in their study results:

- R32 is a known refrigerant with well-defined properties, and current studies focus on mixing properties of R32 and A2L,
- R32 has a higher heat transfer coefficient and pressure drop than R410A in both evaporation and condensation processes,
- The R32 offers similar system performance to the R410A, but most studies suggest system modifications to avoid high discharge temperatures.

As a result, R32 is less flammable than hydrocarbons and the allowed amount of refrigerant is sufficient for use in current conditioning systems. Its toxicity is inferior to other synthetic liquids and precautions taken for such refrigerants are also applicable for R32.

Apart from R32, there are alternative refrigerants to R410A. For use in residential and low-capacity commercial air conditioning and heat pumps, the EPA lists R452B, R454B, R454C as acceptable alternatives in addition to R32 [22]. Apart from these refrigerants, R290 [25,32], R161 [33], R152a [34], R466A [35] and R1234yf [25,34] are also specified as alternatives for R410A and R404. The properties of the refrigerants mentioned in Tab. 1 are given.

There are various restrictions for alternative refrigerants given in Tab. 1. Although R161 is classified as a flammable fluid, it is incomplete due to the lack of toxicity testing. Only one manufacturer's approval for the use of R454B refrigerant in the scroll compressor limits its use. Because the R454C requires a large compressor and heat exchanger, there are doubts about the cost. R466A is in an early stage of refrigerant testing and its suitability for split systems is unclear [36]. As R290 and R152a are classified as flammable (A2 and A3, respectively), the state of charge, size and use are subject to severe limitations. Although R466A is classified as A1 by ASHRAE, it is not yet listed in EN378 and ISO817 [37]. R1234yf, is one of the potential refrigerants due to its excellent environmental performance [38]. However, in serial tests it has low cooling capacity, high compressor power consumption and low COP value [39,40].

Table 1. Characteristics of alternative refrigerants to R410[16,41–46]

| | Chemical Formula | Composition | Safety Class | GWP*-AR4* | GWP*-AR5* | ODP* | Crit. Temp. °C | Crit. Pressure Bar | Boil @ 1,013 Bar °C | Density @1,013 Bar - 25°C | AIT* °C |
|----------------|------------------|--------------|--------------|-----------|-----------|--------|----------------|--------------------|---------------------|---------------------------|---------|
| R410A | R-32/125 | 50/50 | A1 | 2088 | 1924 | 0 | 71.3400 | 49.0100 | -51.4400 | 3.0600 | x |
| R404A | R-125/143a/134a | 44/52/4 | A1 | 3922 | 3943 | 0 | 72.1200 | 37.3500 | -46.2200 | 4.1300 | 728 |
| R466A | R-32/125/131I | 49/11.5/39.5 | A1 | 733 | 696 | 0.0100 | 73.1300 | 52.8300 | -54.0200 | 3.4000 | x |
| R32 | Pure | x | A2L | 677 | 677 | 0 | 78.1100 | 57.8200 | -51.6500 | 2.1900 | 648 |
| R452B | R-125/1234yf/32 | 7/26/67 | A2L | 698 | 676 | 0 | 77.1000 | 52.2000 | -50.6700 | 2.6800 | 509 |
| R454B | R-32/1234yf | 68.9/31.1 | A2L | 467 | 466 | 0 | 78.1000 | 52.6700 | -50.4900 | 2.6400 | 496 |
| R454C | R-32/1234yf | 21.5/78.5 | A2L | 148 | 146 | 0 | 85.6700 | 43.1900 | -45.4600 | 3.8500 | 444 |
| R1234yf | Pure | x | A2L | 4 | <1 | 0 | 94.700 | 33.8200 | -29.4900 | 4.8500 | 405 |
| R152a | Pure | x | A2 | 124 | 138 | 0 | 113.3000 | 45.1700 | -24.0200 | 2.8100 | 455 |
| R290 | Pure | x | A3 | 3 | 3 | 0 | 96.7400 | 42.5100 | -42.1100 | 1.8600 | 470 |
| R161 | Pure | x | A3 | 12 | 4 | 0 | 102.2200 | 50.900 | -37.6000 | 2.0100 | x |

*GWP: Global warming potential, AR4: Intergovernmental panel on climate change fourth assessment report, AR5: Intergovernmental panel on climate change fifth assessment report, ODP: Ozone depletion potential, LVL: Lower flammability limit, AIT: Auto ignition temperature.

Based on the information given above, in this study, the alternatives of the R410A refrigerant used in the GSHP system were investigated and compared with the help of the Engineering Equation Solver (EES) package program, and the system performance and environmental effects were examined. Studies on the subject in the literature are generally related to the comparison of certain refrigerants. Studies showing collectively alternatives to R410A are very limited. In this study, it was aimed to see the alternatives from a different perspective by both comparing the alternatives as a whole and evaluating the performance of the refrigerants according to the ASHRAE classification, and the study was designed in this direction. In addition, the study differs from other studies because it is based on experimental data and a GSHP system is taken as a reference [44,45]. R404 refrigerant, which is one of the separating well-known refrigerants and whose usage is still at a considerable level, was also included in the study. In the study, R32, one of the alternatives of R410A, was discussed and included in the comparison in

current alternatives. All values used in the study were simulated using real environment data and GSHP operating conditions were analyzed for 2.5 m and 1 m ground depth, outdoor temperature and 0 °C. With the results of the study, contributing to the reduction of the use of refrigerants with high GWP values such as R410A and R404A by showing the possible effects and supporting their use not only in air source heat pump applications but also in different heat pump systems such as GSHP are among the aims of the study.

2. Material and Method

The data used in the study were obtained from a GSHP system installed in a region in the terrestrial climate zone of Turkey [47,48]. Energy parameters at the temperature points were calculated with reference to the data in the experimental study. The heating capacity of the heat pump is 2.2 kW and consists of basic components such as ground heat exchanger, compressor, condenser, evaporator, expansion valve, circulation pump and four-way valve. The schematic representation of the system is given in Fig. 2.

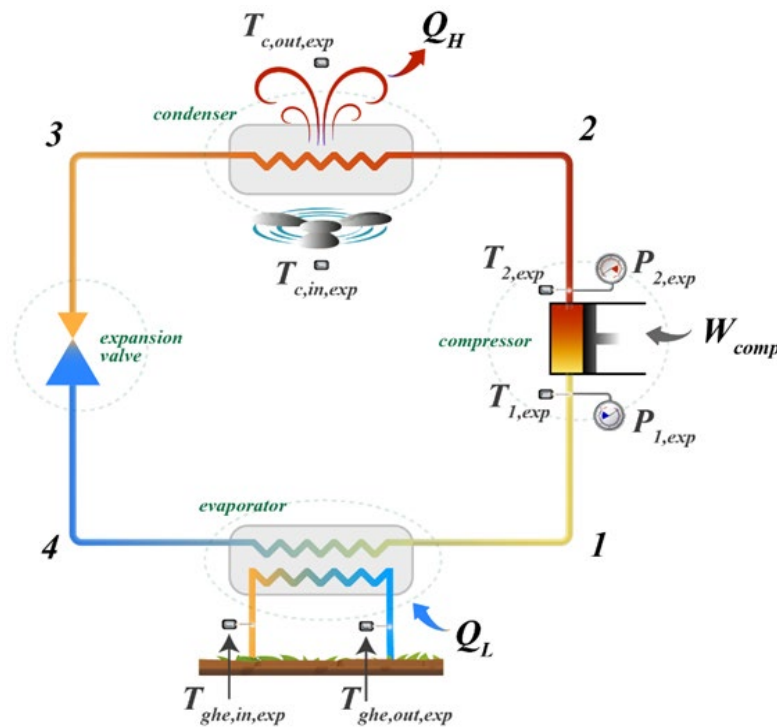


Figure 2. System components and experimental measuring points

Some assumptions have been made in the theoretical analysis of the system. These:

- Heat and pressure losses in system components and pipes are ignored and the system is assumed to operate under steady-state conditions.
- It is assumed that there are no kinetic and potential energy changes.
- The condensing temperature for all refrigerants is assumed to be a constant 36.5 °C (experimental data) to improve comparability. Similar usage is found in the literature [49].
- For ease of comparison, it is assumed that the compressor will maintain its isentropic efficiency at the same suction and discharge pressures.

In addition, the design parameters used in the theoretical analysis are given in Table 2.

Table 2. Design parameters used in theoretical analysis

| | |
|------------------------------|--------------------|
| Outdoor conditions | |
| Location | Sivas |
| Elevation | 1596 m |
| Latitude | 39 |
| Dry bulb | -14.1 °C |
| Indoor conditions | |
| Room temp. | 21 ° C |
| Humidity | 35 % |
| Refrigerant Charged quantity | 0.8 kg (for R410A) |
| Heat Pump | |
| Design load in heating | 2.2 kW |
| Energy Efficiency Class | A+ |
| - Compressor | |
| Type | Rotary |
| Capacity | 2640 W |
| - Fan unit | |
| Output power | 45 W |

EES and experimental data (outdoor environment, temperature values at different depths, refrigerant mass circulating in the system) were used in the calculations. Ground, ambient, and outdoor temperatures were recorded during the heating season (October-March). Calculation of thermodynamic and performance parameters are given below.

Since all four components used in vapor compression heat pump cycles (Fig. 1) are in steady-flow, the cycle can be considered as a steady-flow process. The steady-flow energy equation for unit mass can be calculated as in Eq. 1.

$$(q_{in} - q_{out}) + (w_{in} - w_{out}) = h_{out} - h_{in} \quad (1)$$

The terms q and w are heat and work per unit mass, respectively, and h is enthalpy. *in* and *out* subscripts represent inputs and outputs, respectively. The power consumed by the compressor:

$$\dot{W}_{comp} = \dot{m} (h_2 - h_1) \quad (2)$$

Here, \dot{m} mass flow rate (kg s⁻¹), W is the electrical power (kW) consumed by the compressor to operate the system and h are the enthalpy values (kJ kg⁻¹). Isentropic ($\eta_{comp,is}$) and volumetric ($\eta_{comp,vol}$) efficiency of the compressor:

$$\eta_{comp,is} = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1} \quad (3)$$

$$\eta_{comp,vol} = \frac{\dot{m}_{exp}}{\dot{m}_{the}} \quad (4)$$

Here exp and the subscripts represent experimental and theoretical data, respectively. Heat absorbed by the evaporator (\dot{Q}_e):

$$\dot{Q}_e = \dot{m} (h_4 - h_1) \quad (5)$$

Heat rejected by the condenser (Q_c):

$$\dot{Q}_c = \dot{m} (h_2 - h_3) \quad (6)$$

$$\dot{Q}_c = \dot{Q}_e + \dot{W}_{comp} \quad (7)$$

Pressure ratio:

$$p_{ratio} = \frac{p_2}{p_1} \quad (8)$$

Pressure difference:

$$p_{dif} = p_2 - p_1 \quad (9)$$

The energy performance of a heat pump system is defined by its COP. COP is calculated as the ratio of the evaporator heat capacity to the electricity consumed by the system.

$$COP = \frac{Q_{con}}{W_{sys}} \quad (10)$$

Also, in this study, TEWI analyzes of refrigerants, which are alternatives to R410A, were performed for the 2.2 kW GSHP system. As it is known, any system that requires energy input indirectly affects the environment with CO₂ emissions from energy production processes. TEWI simultaneously takes into account emissions caused by accidental refrigerant leaks (L_a) and electricity consumption during system operation (E_a) and TEWI is measured in kg mass units as carbon dioxide equivalent. TEWI can be calculated using the following equation [50]:

$$TEWI = (\underbrace{GWP \cdot L_a \cdot n}_{direct\ emissions}) + (\underbrace{E_a \cdot \beta \cdot n}_{indirect\ emissions}) \quad (11)$$

Here, L_a indicates leakage rate (kg) per annum, n number of years, E_a energy consumption (kWh per annum), β CO₂ emissions per kWh, $TEWI$ total equivalent warming impact (CO₂ (kg)).

3. Results and Discussion

All refrigerants included in the study were compared in detail in terms of their thermodynamic parameters and performance data, and their performance values were analyzed according to safety groups. In Fig. 3, a pressure (logarithmic) - enthalpy ($P-h$) diagram is given, considering the values obtained from the experimental data of the R410A. In Fig. 4, pressure (logarithmic) - enthalpy ($P-h$) diagram is given according to the ground temperature values (2.5 m depth) of the refrigerants according to different safety groups. In the figure, the interval 4-1 indicates the heat absorbed by the evaporator, 2-3 indicates the heat given to the environment from the condenser, and the interval 1-2 indicates the work by the compressor. The work of the compressor of a heat pump increases significantly due to the decrease in ambient temperature, which systematically affects all parameters (COP, pressure ratio, mass flow, etc.) negatively. Thermo-physical properties, safety restrictions and environmental impact are the

most important factors in choosing a new refrigerant. Low viscosity in liquid and vapor phases, high specific heat, high thermal conductivity of liquid and vapor phases, high latent heat are the desired thermo-physical properties of refrigerant mixtures. Similar to the studies performed [51], it has been observed that the condensation and evaporation pressures of R32 and R410A heat pumps are quite close to each other. However, R1234yf pressure values and enthalpy range (h_1-h_2) are significantly lower like R404. The main reason for the difference here is that the mass flow rate of the refrigerant circulating in the cycle is different. In addition, although the energy consumed by the R410A and R32 refrigerants in the compressor is close to each other, the condensation enthalpy (h_2-h_1) of the R32 refrigerant is quite high except for the A2 and A3 groups.

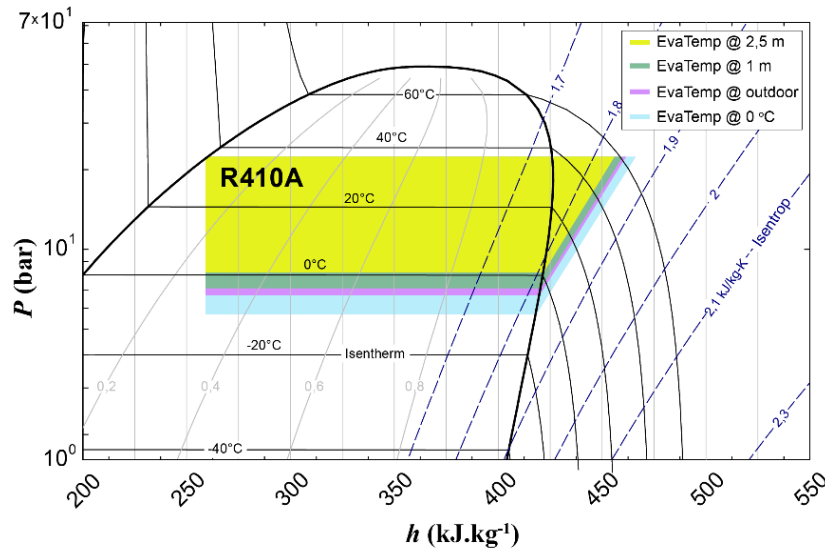


Figure 3. P-h diagram of experimental temperature values of R410A

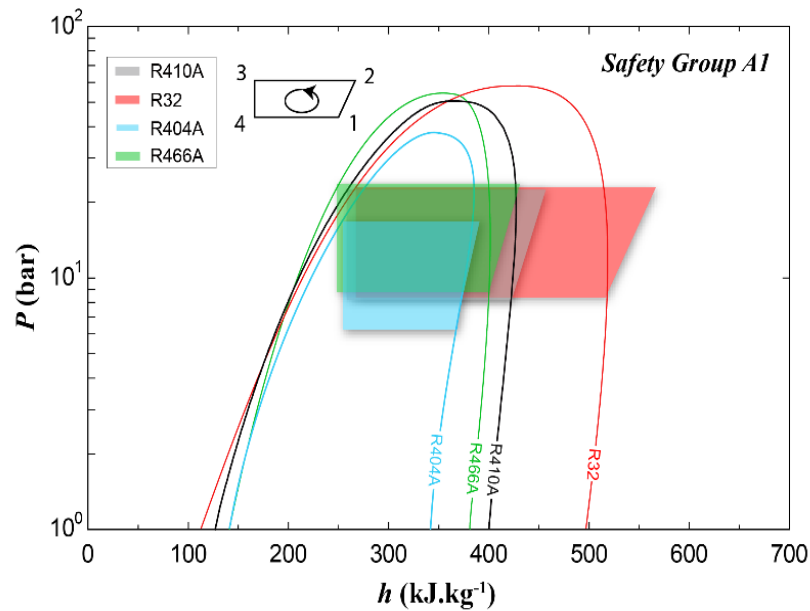


Figure 4. Comparison of P-h diagrams in experimental temperature values of refrigerants in different safety groups

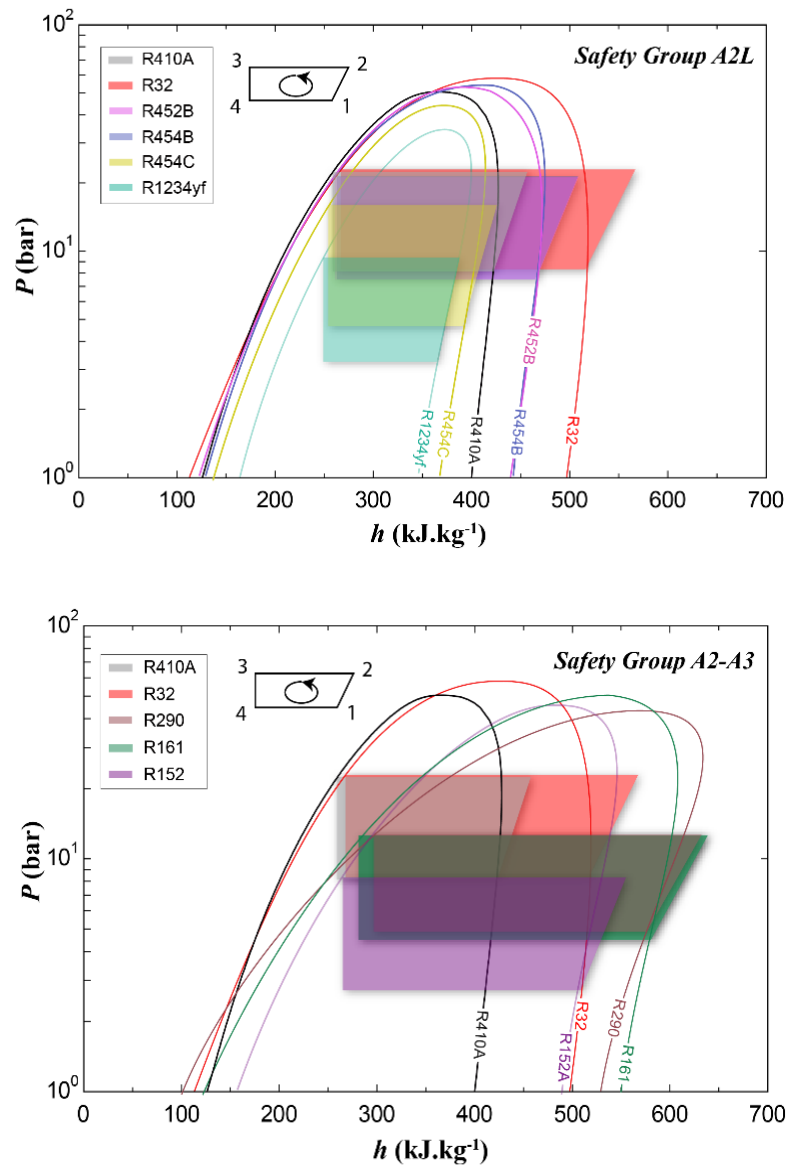


Figure 4. Comparison of P-h diagrams in experimental temperature values of refrigerants in different safety groups. (*cont.*)

Fig. 5 shows the temperature-entropy ($T-s$) diagram of the R410A, which is prepared with reference to the experimental data. In Fig. 6, temperature-entropy ($T-s$) diagram is given according to the ground temperature values (2.5 m depth) of the refrigerants according to different safety groups. Like the P-h diagram, the interval 4-1 on the diagram refers to the heat absorbed by the evaporator, 2-3 indicates the heat given to the environment from the condenser. The range of 1-2 refers to the work by the compressor. As it is known, the capacity and efficiency of heat pumps are sensitively affected by temperature changes, decreases in temperature significantly reduce their capacity and efficiency. While the heat pump evaporation temperature values of the refrigerants in all groups are close to each other except R454C, the condensation temperature values are quite different. As stated by Çengel and Boles [52], every 1 °C decrease in the condensation temperature improves the efficiency of the system by 2%. It should not be forgotten that the capacity from the condenser is kept constant at 1.63 kW, which is the value in the experimental study. As is known, the area between the curves in $T-s$ diagrams is attributed to net work. When the values of the refrigerant in the A1 and A2L groups are compared, it is seen that

the values of the R32 refrigerant are quite high. In the A2 and A3 groups, although R152a and R161 refrigerants display similar properties, R152a is more successful due to less energy consumption in the compressor.

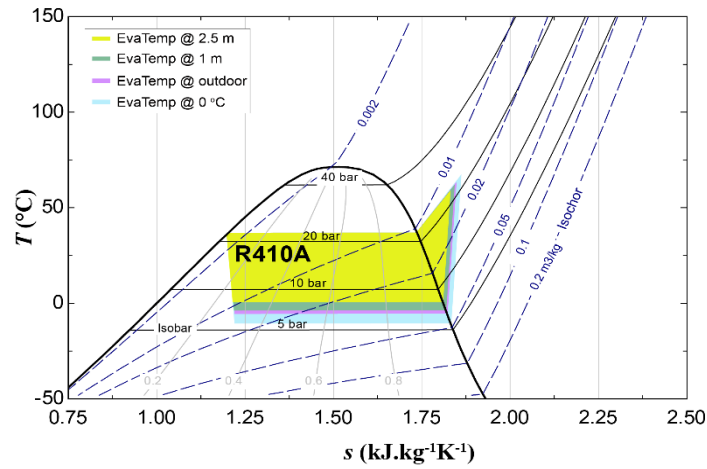


Figure 5. T-s diagram in experimental temperature values of R410A.

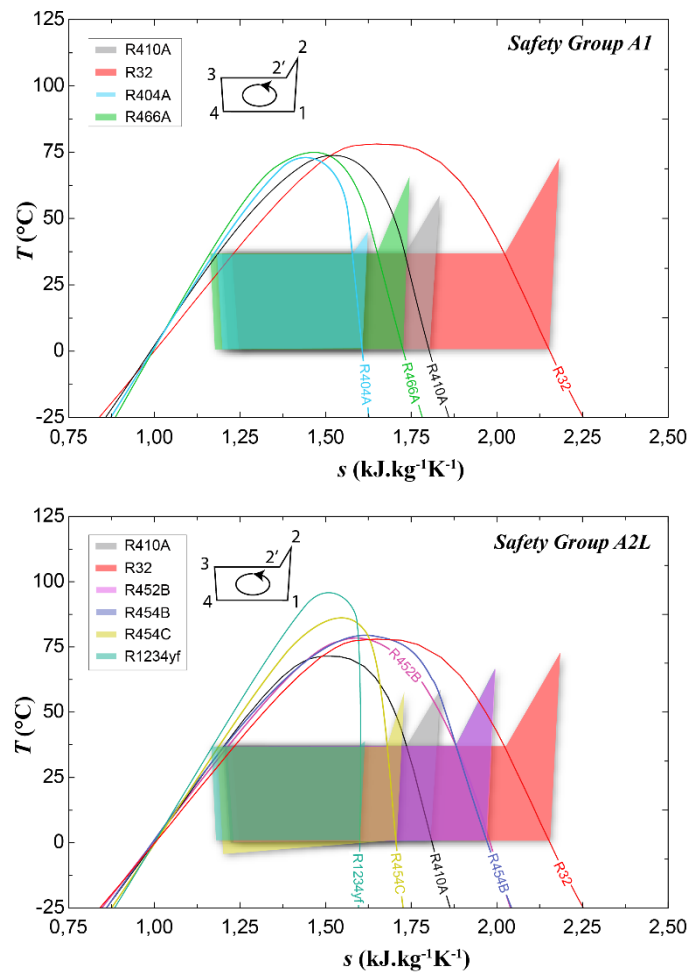


Figure 6. Comparison of T-s diagrams in experimental temperature values of refrigerants in different safety groups.

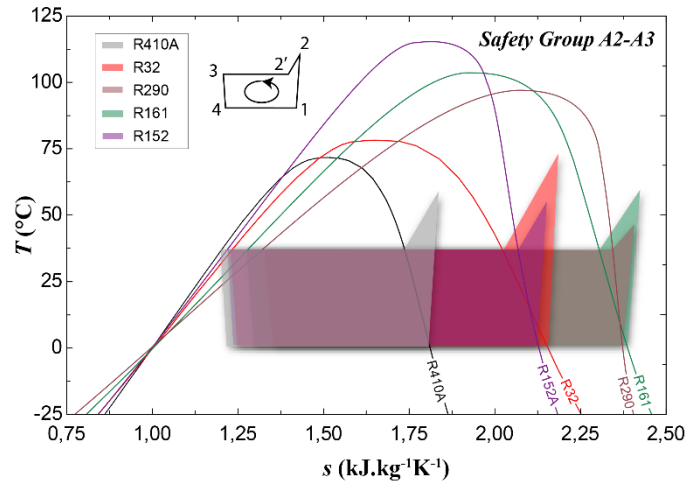


Figure 6. Comparison of T-s diagrams in experimental temperature values of refrigerants in different safety groups. (*cont.*)

In Fig. 7, comparison of the capacity of the condenser and compressor power consumption of alternative refrigerants according to safety groups is given. Among the R410A alternative refrigerants, it can be seen that the refrigerant that reached the highest condenser capacity in A1 and A2L groups is R32. R466A in the A1 group showed a performance close to R32 (0.44% less) (Fig. 7A). Compared to other alternative refrigerants in the A1 group in terms of the power consumed by the compressor, R32 is 2.1% lower than the closest refrigerant power value (Fig. 7B). The values of R410A and R466A are very close to each other.

Increase in compressor power consumption is undesirable and adversely affects system performance. R32 refrigerant consumes 1.42% less electrical energy in the compressor than the closest value R1234yf in the A2L group. In addition, there is a significant difference between R32 and other refrigerants and R454C in both the condenser capacity (-4.3%) and the electrical energy consumed by the compressor (+17%). In the group of flammable gases (A2 and A3), the situation is slightly different from the situation mentioned above. R410A has the condenser evaporator capacity and the highest value in energy consumption in the compressor. While R290 and R32 show similar results, the highest performance was calculated in R152a with +0.5% in condenser capacity and -5% in the power consumed by the compressor, and the data are in accordance with the literature [34]. Among all safety groups and alternatives, R454C refrigerant showed the most unsuccessful results.

It was stated that the condensation temperature and capacity in the heating mode were considered constant. Accordingly, the pressure differences and ratios of the system are given in Fig. 8. Except for R404A, the pressure differences of the refrigerants in group A1 are similar and the pressure ratios are almost the same. The situation is quite different when considering refrigerants in the A2L group. Although the pressure difference of R1234yf is very low, it needs more mass flow rate to provide the required capacity (16.01 g/s @ 10.97 °C). It exhibits similar qualities with R1234yf in R454C.

The change in evaporator temperature significantly affects the COP values. Therefore, since the outdoor temperature is lower than the ground temperature, drawing heat from here during the heating season provides more success. This is the main reason why GSHP systems are more successful than air source heat pump systems. In the calculation of the COP value, the power of the circulation pump was used as approximately 0.03 kW, with reference to the experimental study results. In the analysis results, the COP value of the system has shown 30% more performance when the temperature value is 10.97 °C (2.5 m depth) compared to an outdoor environment at 0 °C (Fig. 9A). The refrigerant used in the heat pump unit affects the COP performance. As the evaporation temperature increases, the compression pressure ratio of the refrigerant decreases, so the power consumed by the compressor decreases in parallel with the enthalpy difference (h_2-h_1). It is seen that the best alternative to R410A in A1 and A2L group is R32. According to the 2.5 m ground temperature value (10.97 °C), the R32 refrigerant has

increased the COP value by 3.1% compared to R410A, and this difference has increased up to 7.1% with R404A. The results are consistent with the studies performed [22]. R454C in the A2L group is the refrigerant with the worst COP value. In the A2 and A3 groups, the highest COP values were obtained in R152a. Similarly, the COP values of other refrigerants in the group are higher than R32 and R4010A. The COP differences of the refrigerants in this group from R410A vary between 4.1% (R290) - 8.5% (R152a). The average COP value of the system, on which the experimental parameters are referenced [47], is shown in Fig. 9A. There is a 3.5% difference between the experimental results and this study. This difference is consistent when neglected losses are taken into account.

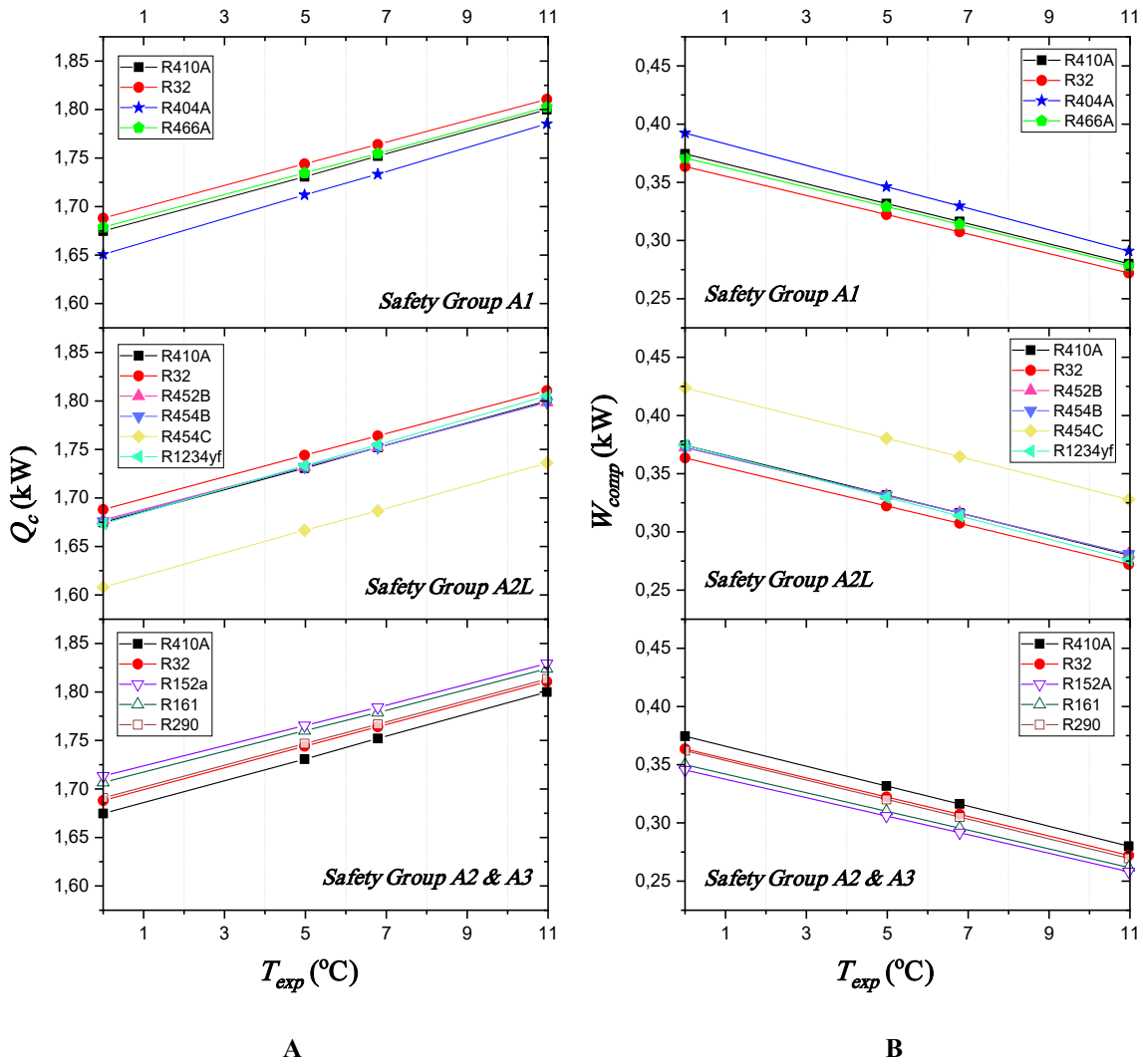


Figure 7. A. Condenser capacity of alternative refrigerants according to safety groups, B. Compressor power consumption of alternative refrigerants according to safety groups

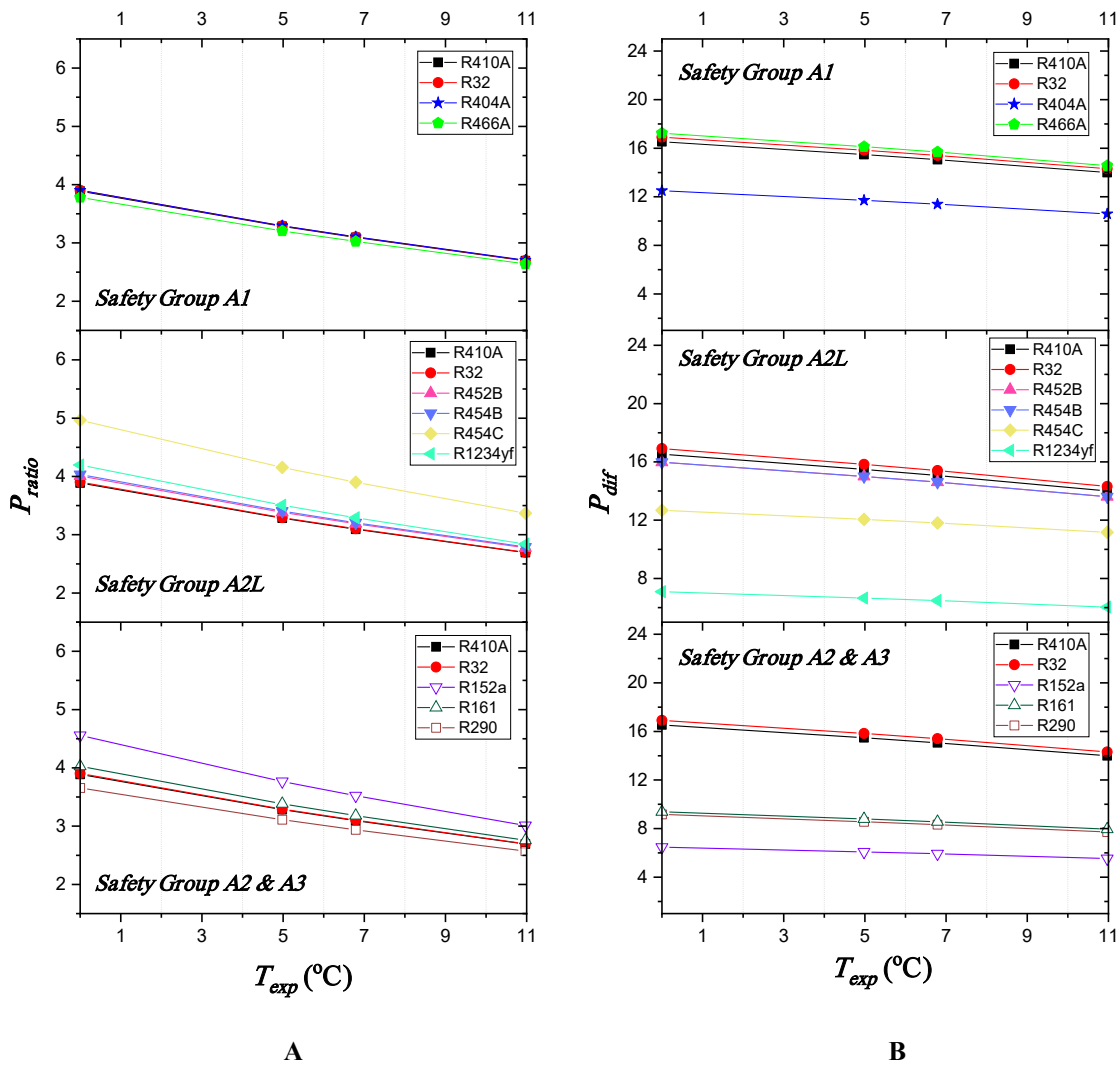


Figure 8. A. Pressure ratio of alternative refrigerants according to safety groups. B. Pressure differences of alternative refrigerants according to safety groups

The mass flow rate values of the refrigerant that must circulate in the heat pump system depending on the evaporation temperature are given in Fig. 9B. In A1 and A2L group refrigerants, the lowest mass flow rate belongs to R32. On the other hand, R404A and R454C have the highest values in terms of mass flow rate and the lowest values in terms of COP value. This situation is also an indication of the inadequate performance of these refrigerants. Although R1234yf performs similarly to R410A in terms of COP value, it has the highest value in the first two groups in terms of mass flow rate. The mass flow rates of refrigerants in groups A2 and A3 are very close to each other.

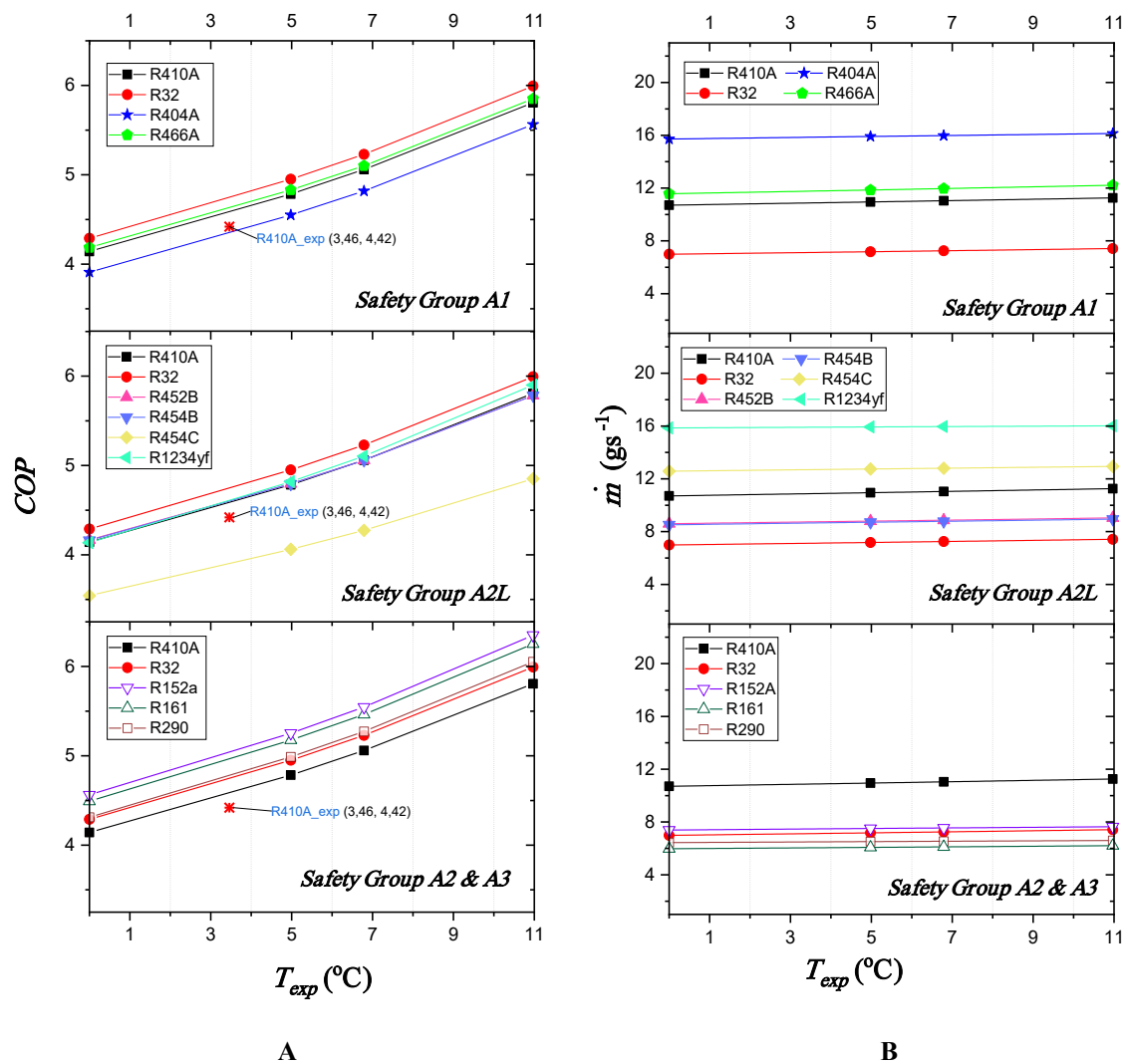


Figure 9. A. COP values of alternative refrigerants according to safety groups, B. Mass flow rates of alternative refrigerants according to safety groups.

In the refrigerant selection process, environmental measurements are often used alongside applicability. The most widely used of these measurements are GWP and Total equivalent warming impact (TEWI) values [53]. TEWI considers the CO₂ emissions of the systems into the atmosphere by taking into account their direct (leakage emissions) and indirect (emissions produced by the energy consumed during the operation of the system) effects [54] and TEWI is recommended as a comparative index of global warming effects for different options for a given application [55].

In Fig. 10, TEWI analysis results are given for the above-mentioned system, taking into account the ground temperature change and the mass of R410A refrigerant supplied to the system during the experiments. The masses of the alternative refrigerants to be given to the system were calculated according to the density values given in Tab. 1, taking the volume of the system as a reference. The CO₂ emission value per kWh from electricity consumption is taken as 255 g CO₂/kWh for the European region from the European Environment Agency tables [56]. The annual leakage amount of the system is taken as 4% [50]. The use of R32 instead of R410A according to the 2.5 m ground temperature value reduced the CO₂ emission by 2.54% (72.5 kg) and this reduction rate increased up to 7.06% (201 kg) in R152A. At 0 °C, this reduction value reached up to 2.67% (99.14 kg) for R32.

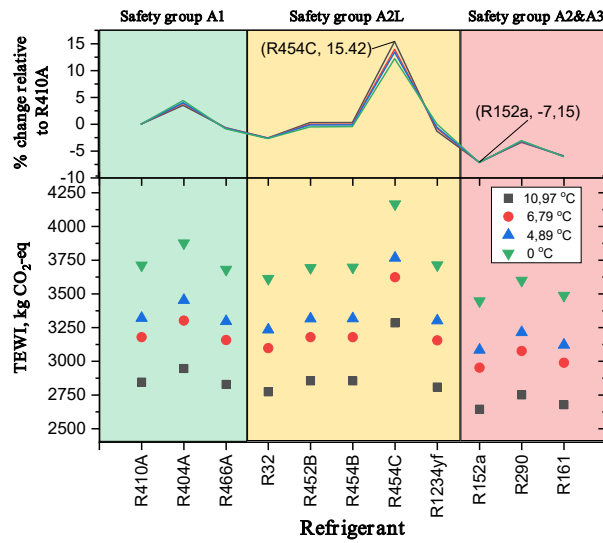


Figure 10. TEWI value of alternative refrigerants according to safety groups

Considering 1800 hours of operation for the heating season (October-March), the annual electricity consumption according to the temperature value at 2.5 m ground depth is shown in Fig. 11 from low to high. R454C provided the highest electricity consumption at all temperature values. Compared to R410A, this value is approximately 17% higher. The lowest electricity consumption was in A2 and A3 groups. The most successful refrigerant in the A2L group was R32. R32 saved 2.85% in total electricity consumption during the heating season compared to R410A. As the evaporation temperature decreased, the electrical energy consumed by the compressor varied depending on the mass flow rate. For example, at 10.97 °C, R1234yf consumed less electrical energy compared to R410A, while at 0 °C it consumed more energy.

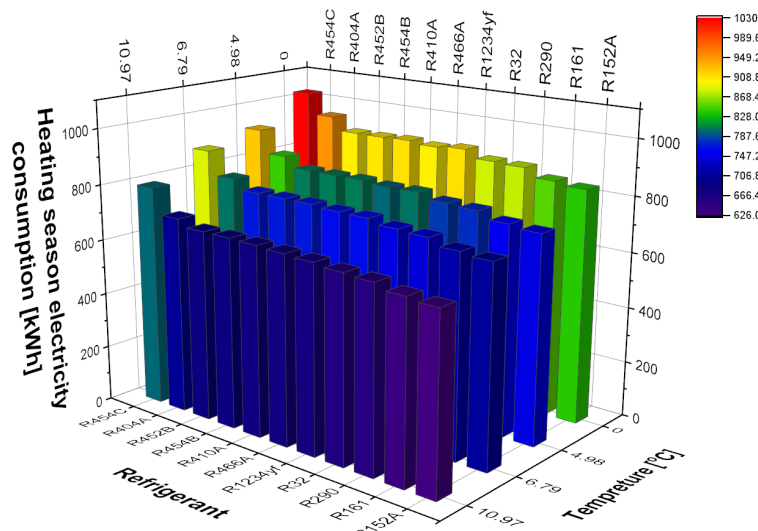


Figure 11. Electricity consumption values of the GSHP system according to the type of refrigerant depending on the temperature value in the heating season

4. Conclusion

In this study, the effect of alternative refrigerants instead of R410A in a GSHP system was investigated theoretically by referring to experimental data. Except for R404A refrigerant, which is

included in the comparison to see the effect of conventional refrigerants within the scope of the study, the GWP value of all other refrigerants is below the limit of 750 by the European F-Gas Regulation (Regulation (EU) No 517/2014) [13]. It can be challenging by both manufacturers and service providers, as there are too many alternative refrigerants below this GWP value. It is also quite confusing by the end user. Therefore, it is very important to choose the best alternative in terms of environmental, economic and energy carrying capacity. In addition, every factor that will increase the performance parameters of GSHP systems, which are already quite successful, without changing / reducing the cost, is very important in terms of the widespread use of these systems. In this context, some of the important results obtained from the study can be listed as follows:

- In the amount of refrigerant circulating in the system, approximately 35% is saved with R32 compared to R410A refrigerant. While this ratio provides an economic advantage with the amount of refrigerant used, it significantly reduces the amount of refrigerant that will be released into the environment in case of possible system leaks. Although it does not pose a problem due to its similar properties in both refrigerants in terms of ozone depletion capacity, it provides a serious gain potential in terms of GWP value.
- Refrigerants in the A2 and A3 groups are the most successful for COP and operating cost. Especially R152a, which is in the flammable fluid class (A2), provided the most successful results in the study. R152a provided a 10% increase in COP compared to R410A. However, it should be kept in mind that it is subject to restrictions due to its flammability capacity.
- Among the refrigerants in the A1 and A2L groups, the most successful results were achieved with the R32. This refrigerant achieved the highest performance in terms of compliance with the F-gas regulation and its low mass flow rate requirement, COP value and operating cost after A2 and A3 groups. However, it is stated by Federation of Environmental Trade Associations that replacing systems using R410A directly with R32 would void the warranty terms and could pose security risks [57].
- Apart from R32, refrigerants (R452B, R454B, R454C) classified by the EPA as being used in residential and commercial conditioning systems were higher than R410 in terms of operating costs. In addition, R454C was determined to have the lowest values in all respects in the study.
- The use of R32 refrigerant instead of R410A contributes to the reduction of CO₂ emissions.
- With the decrease in the evaporation temperature, fluids with high mass flow rate start to consume more electrical energy.

References

- [1] M. Pacesila, S.G. Burcea, S.E. Colesca, Analysis of renewable energies in European Union, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 56 (2016) 156–170.
- [2] S. Rosiek, F.J. Battles, Renewable energy solutions for building cooling, heating and power system installed in an institutional building: Case study in southern Spain, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 26 (2013) 147–168.
- [3] H. Esen, M. Inalli, M. Esen, Numerical and experimental analysis of a horizontal ground-coupled heat pump system, *Build. Environ.* 42 (2007) 1126–1134.
- [4] H. Esen, M. Inalli, M. Esen, K. Pihtili, Energy and exergy analysis of a ground-coupled heat pump system with two horizontal ground heat exchangers, *Build. Environ.* 42 (2007) 3606–3615.
- [5] H. Hu, T.M. Eikevik, P. Neksa, A. Hafner, G. Ding, Q. Huang, J. Ye, Performance analysis of an R744 ground source heat pump system with air-cooled and water-cooled gas coolers, *Int. J. Refrig.* 63 (2016) 72–86.
- [6] R. Karabacak, E. Güven Acar, H. Kumsar, A. Gökgöz, M. Kaya, Y. Tülek, Experimental investigation of the cooling performance of a ground source heat pump system in Denizli, Turkey, *Int. J. Refrig.* 34 (2011) 454–465.

- [7] W. Wu, H.M. Skye, Progress in ground-source heat pumps using natural refrigerants, *Int. J. Refrig.* 92 (2018) 70–85.
- [8] L. Pu, L. Xu, D. Qi, Y. Li, Structure optimization for horizontal ground heat exchanger, *Appl. Therm. Eng.* 136 (2018) 131–140.
- [9] S.A. Ghoreishi-Madiseh, A.F. Kuyuk, M.A. Rodrigues de Brito, An analytical model for transient heat transfer in ground-coupled heat exchangers of closed-loop geothermal systems, *Appl. Therm. Eng.* 150 (2019) 696–705.
- [10] C. Li, J. Mao, X. Peng, W. Mao, Z. Xing, B. Wang, Influence of ground surface boundary conditions on horizontal ground source heat pump systems, *Appl. Therm. Eng.* 152 (2019) 160–168.
- [11] European Commission, Fluorinated greenhouse gases, (2021). https://ec.europa.eu/clima/policies/f-gas_en (accessed April 18, 2021).
- [12] United Nations, Kyoto protocol to the United Nations framework convention on climate change, New York, USA, 1997.
- [13] The European Parliament and the Council of the European Union, Regulation (EU) no 517/2014 of the European parliament and of the council of 16 April 2014 on fluorinated greenhouse gases and repealing regulation (EC) No 842/2006, *Off. J. Eur. Union.* (2014).
- [14] P.A. Domanski, R. Brignoli, J.S. Brown, A.F. Kazakov, M.O. McLinden, Low-GWP refrigerants for medium and high-pressure applications, *Int. J. Refrig.* 84 (2017) 198–209.
- [15] Environmental Protection Agency (EPA), Protection of Stratospheric Ozone: Listing of Substitutes Under the Significant New Alternatives Policy Program, (2020) 35874–35895. <https://www.federalregister.gov/documents/2020/06/12/2020-11990/protection-of-stratospheric-ozone-listing-of-substitutes-under-the-significant-new-alternatives> (accessed April 19, 2021).
- [16] ASHRAE, Designation and Safety Classification of Refrigerants, ANSI/ASHRAE Add. f to ANSI/ASHRAE Stand. 34-2019. (2019) 2.
- [17] A. Mota-Babiloni, J. Navarro-Esbrí, P. Makhnatch, F. Molés, Refrigerant R32 as lower GWP working fluid in residential air conditioning systems in Europe and the USA, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 80 (2017) 1031–1042.
- [18] Daikin Global, R-32, Next-Generation Refrigerant, (2021). https://www.daikin.com/corporate/why_daikin/benefits/r-32/ (accessed April 16, 2021).
- [19] Z. Yang, B. Feng, H. Ma, L. Zhang, C. Duan, B. Liu, Y. Zhang, S. Chen, Z. Yang, Analysis of Lower GWP and Flammable Alternative Refrigerants, *Int. J. Refrig.* (2021).
- [20] A. López-Belchí, F. Illán-Gómez, J.R. García Cascales, F. Vera García, R32 and R410A condensation heat transfer coefficient and pressure drop within minichannel multiport tube. Experimental technique and measurements, *Appl. Therm. Eng.* 105 (2016) 118–131.
- [21] B. Luo, Theoretical study of R32 in an oil flooded compression cycle with a scroll machine, *Int. J. Refrig.* 70 (2016) 269–279.
- [22] A. Alabdulkarem, R. Eldeeb, Y. Hwang, V. Aute, R. Radermacher, Testing, simulation and soft-optimization of R410A low-GWP alternatives in heat pump system, *Int. J. Refrig.* 60 (2015) 106–117.
- [23] H. Pham, R. Rajendran, R32 And HFOs As Low-GWP Refrigerants For Air Conditioning, *Int. Refrig. Air Cond. Conf.* (2012). <https://docs.lib.purdue.edu/iracc/1235> (accessed May 1, 2021).
- [24] X. Xu, Y. Hwang, R. Radermacher, Performance comparison of R410A and R32 in vapor injection cycles, *Int. J. Refrig.* 36 (2013) 892–903.
- [25] Environmental Protection Agency (EPA), Protection of stratospheric ozone: listing of substitutes for refrigeration and air conditioning and revision of the venting prohibition for certain refrigerant substitutes. Federal Register, Rules and Regulations, 2020.
- [26] The Japan Society of Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Risk Assessment of Mildly Flammable Refrigerants, Tokyo, 2014.
- [27] L. Jia, W. Jin, Y. Zhang, Experimental study on R32 leakage and diffusion characteristic of wall-mounted air conditioners under different operating conditions, *Appl. Energy.* 185 (2017) 2127–2133.

- [28] W. Goetzler, L. Bendixen, P. Bartholomew, Risk Assessment of HFC-32 and Residential Heat Pumps Final Report, 1998.
- [29] C. Zilio, R. Brignoli, N. Kaemmer, B. Bella, Energy efficiency of a reversible refrigeration unit using R410A or R32, *Sci. Technol. Built Environ.* 21 (2015) 502–514.
- [30] A. Barve, L. Cremaschi, Drop-in Performance of Low GWP Refrigerants in a Heat Pump System for Residential Applications, *Int. Refrig. Air Cond. Conf.* (2012).
- [31] A. Mota-Babiloni, J. Navarro-Esbrí, P. Makhnatch, F. Molés, Refrigerant R32 as lower GWP working fluid in residential air conditioning systems in Europe and the USA, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 80 (2017) 1031–1042.
- [32] S. Konghuayrob, K. Khositkullaporn, Comparison of R32, R410A and R290 Refrigerant in Inverter Heat Pumps Application Performance Comparison of R32, R410A and R290 Refrigerant in Inverter Heat pumps application, in: *Int. Refrig. Air Cond. Conf.*, 2016. <http://docs.lib.purdue.edu/iracc/1577> (accessed April 18, 2021).
- [33] X. Wang, Z. Gao, X. Gao, W. Guan, X. Han, G. Chen, Investigation on the Vapor-Liquid Equilibrium for the Ternary Mixture HFC-32 + HFC-125 + HFC-161 at Temperatures from 265.15 K to 303.15 K, *J. Chem. Eng. Data.* 60 (2015) 2721–2727.
- [34] M. Kilic, M. Anjrini, Comparative performance analysis of a combined cooling system with mechanical and adsorption cycles, *Energy Convers. Manag.* 221 (2020) 113208..
- [35] A.G. Devocioğlu, V. Oruç, Energetic performance analysis of R466A as an alternative to R410A in VRF systems, *Eng. Sci. Technol. an Int. J.* 23 (2020) 1425–1433.
- [36] European Commission, The availability of refrigerants for new split air conditioning systems that can replace fluorinated greenhouse gases or result in a lower climate impact, Brussels, 2020.
- [37] B. Gschrey, J. Kleinschmidt, S. Barrault, Briefing Paper: HFCs and HFC alternatives in split air conditioning systems, 2020. https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/docs/0106/2020_03_25_hfc_alternatives_en.pdf (accessed April 19, 2021).
- [38] WMO (World Meteorological Organization), . Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2018, Global Ozone Research and Monitoring Project-Report No. 58., Geneva, Switzerland, 2018. <https://ozone.unep.org/sites/default/files/2019-05/SAP-2018-Assessment-report.pdf> (accessed May 24, 2021).
- [39] A. Mota-Babiloni, J. Navarro-Esbrí, Á. Barragán, F. Molés, B. Peris, Drop-in energy performance evaluation of R1234yf and R1234ze(E) in a vapor compression system as R134a replacements, *Appl. Therm. Eng.* 71 (2014) 259–265.
- [40] F. Illán-Gómez, J.R. García-Cascales, Experimental comparison of an air-to-water refrigeration system working with R134a and R1234yf, *Int. J. Refrig.* 97 (2019) 124–131.
- [41] Environmental Protection Agency (EPA), Pollution Prevention Tools and Calculators, Pollution Prevention (P2), (n.d.). <https://www.epa.gov/p2/pollution-prevention-tools-and-calculators> (accessed April 18, 2021).
- [42] IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change Fifth Assessment Report, 2013.
- [43] IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report, 2007.
- [44] Danfoss, Refrigerant Slider, (2021). <https://reftools.danfoss.com/spa/tools/ref-slider> (accessed July 28, 2021).
- [45] Solstice® N41 (R-466A) | Honeywell, (n.d.). <https://sustainability.honeywell.com/us/en/products/refrigerants/hfo-blends/solstice-n41-r-466a#resources-tab> (accessed April 18, 2021).
- [46] R161 Safety data sheet, (n.d.). http://www.msds-al.co.uk/assets/file_assets/SDS_058-CLP-FLUOROETHANE.pdf (accessed April 18, 2021).
- [47] A. Kapıcıoğlu, H. Esen, Experimental investigation on using Al₂O₃/ethylene glycol-water nanofluid in different types of horizontal ground heat exchangers, *Appl. Therm. Eng.* (2019) 114559.
- [48] A. Kapıcıoğlu, Energy and exergy analysis of a ground source heat pump system with a slinky ground heat exchanger supported by nanofluid, *J. Therm. Anal. Calorim.* (2021) 1–14. doi:10.1007/s10973-020-10498-0.
- [49] A.G. Devocioğlu, Seasonal performance assessment of refrigerants with low GWP as substitutes for R410A in heat pump air conditioning devices, *Appl. Therm. Eng.* 125 (2017) 401–411.

- [50] United Nations Industrial Development Organization, Greening of Industry under the Montreal Protocol Greening of Industry under the Montreal Protocol, (2009). www.unido.org (accessed July 27, 2021).
- [51] X. Xu, Y. Hwang, R. Radermacher, Performance comparison of R410A and R32 in vapor injection cycles, *Int. J. Refrig.* 36 (2013) 892–903.
- [52] Y.A. Çengel, M.A. Boles, *Thermodynamics an Engineering Approach*, seven edit, Palme Yayınevi, 2013.
- [53] P. Makhnatch, R. Khodabandeh, The Role of Environmental Metrics (GWP, TEWI, LCCP) in the Selection of Low GWP Refrigerant, *Energy Procedia*. 61 (2014) 2460–2463.
- [54] AIRAH 2012, Methods of calculating Total Equivalent Warming Impact (TEWI) , Australia, 2012. www.airah.org.au (accessed July 27, 2021).
- [55] A. Mota-Babiloni, J.R. Barbosa, P. Makhnatch, J.A. Lozano, Assessment of the utilization of equivalent warming impact metrics in refrigeration, air conditioning and heat pump systems, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 129 (2020) 109929.
- [56] European Environment Agency, Greenhouse gas emission intensity of electricity generation in Europe, (2021). <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/overview-of-the-electricity-production-3/assessment-1> (accessed July 16, 2021).
- [57] A. Gaved, “Don’t try to retrofit R32 in an R410A system” warns FETA - Refrigeration and Air Conditioning, (2018). <https://www.racplus.com/news/dont-try-to-retrofit-r32-in-an-r410a-system-warns-feta-05-03-2018/> (accessed April 21, 2021).

Nomenclature

| Symbols | | Subscripts | |
|-----------|---|------------|-----------------------|
| \dot{m} | mass flow rate, kg/s | a | annum |
| COP | coefficient of performance | c | condenser |
| EPA | environmental protection agency | $comp$ | compressor |
| E | energy consumption, kWh | dif | difference |
| GSHP | ground source heap pump | e | evaporator |
| GWP | global warming potential | exp | experimental |
| h | specific enthalpy, kJ/kg | ghe | ground heat exchanger |
| HFC | hydrofluorocarbon | h | heating |
| Q | heat capacity, kW | in | Inlet |
| q | heat per unit mass, kJ/kg | is | Isentropic |
| W | rate of work or power, kW | out | outlet |
| w | work per unit mass, kJ/kg | R | refrigerant |
| L | leakage rate, kg | the | theoretical |
| LFL | lower flammability limit, kg/m ³ | vol | volumetric |
| n | life of the system | | |
| η | efficiency | | |
| P | pressure, kPa | | |
| s | specific entropy, kJ/kgK | | |
| T | temperature, K or °C | | |
| $TEWI$ | total equivalent warming impact | | |
| u | specific internal energy, kJ/kg | | |
| v | specific volume m ³ /kg | | |
| β | CO ₂ emissions per kWh | | |

SIİRT’TE SATILAN TAVUK KANATLARDA BAZI BİYOKİMYASAL ÖZELLİKLERİN VE PATOJEN ÖZELLİKTEKİ *YERSİNİA* TÜRLERİNİN BELİRLENMESİ

Bülent HALLAÇ¹, Osman KILINÇÇEKER^{2*}

¹Siirt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Siirt/ Türkiye

²Adiyaman Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, Adiyaman/ Türkiye

Geliş Tarihi/Received Date: 14.12.2021 Kabul Tarihi/Accepted Date: 26.01.2022 DOI: 10.54365/adyumbd.1036490

ÖZET

Bu çalışmada Siirt’te satılan tavuk kanatlarda bazı biyokimyasal özellikler ve bazı *Yersinia* türlerinin varlığının belirlenmesi amaçlanmıştır. İncelenen yirmi adet tavuk kanat örneğine ait a_w , pH ve O/R potansiyeli değerleri sırasıyla 0.96-0.98, 5.56-7.09, 22.45-54.90 mV aralığında belirlenmiştir. Ayrıca, tavuk kanatlarının dördünde (% 20) *Yersinia* spp. bulunmuş, bu örneklerin üçünde *Yersinia enterocolitica*, birinde ise *Yersinia intermedia* tanımlanmıştır. Sonuç olarak fizikokimyasal değerleri *Yersinia* türlerinin gelişimine uygun olan tavuk kanatlarda bu mikroorganizmanın bazı türlerinin bulunduğu ve bunun halk sağlığı açısından risk oluşturabileceği kanaatine varılmış, benzer özelliklere sahip diğer patojenlerin de problem yaratmaması için işletmelerde hijyen kurallarına daha fazla dikkat edilmesi gerekliliği göz önüne serilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tavuk kanat; patojen mikroorganizma; *Yersinia* türleri; *Yersinia enterocolitica*

DETERMINATION OF SOME BIOCHEMICAL CHARACTERISTICS AND PATHOGENIC *YERSINIA* SPECIES IN CHICKEN WINGS SOLD IN SIIRT

ABSTRACT

In this study, it was aimed to determine some biochemical properties and the presence of some *Yersinia* species in chicken wings sold in Siirt. The a_w , pH and O/R potential values of twenty chicken wing samples were determined in the range of 0.96-0.98, 5.56-7.09, 22.45-54.90 mV, respectively. In addition, *Yersinia* spp. was found in four (20%) chicken wings, *Yersinia enterocolitica* was identified in three of these samples and *Yersinia intermedia* was identified in one. As a result, it was concluded that there are some species of this microorganism in chicken wings that its physicochemical values are suitable for the development of *Yersinia* species and that this may pose a risk for public health, it has been pointed out that more attention should be paid to hygiene rules in enterprises so that other pathogens with similar characteristics do not cause problems.

Keywords: Chicken wing, pathogenic microorganism, *Yersinia* spp., *Yersinia enterocolitica*

1. Giriş

Patojen mikroorganizmalar gıda zehirlenmelerinde önemli rol oynayan ve bu nedenle ürünlerde olması istenmeyen canlı grubudur. Patojenler, özellikle kanatlı eti ürünlerinde sık sık problem yaratırlarken, bunlardan en sık rastlanırlara örnek olarak *Yersinia* grubu bakteriler verilebilir [1-2].

*1 e-posta : bulenthallac@siirt.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6948-1565>

*2 e-posta : okilincceker@adiyaman.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5222-1775> (Sorumlu Yazar)

Yersinia soyunu, ilk kez 1894 yılında Alexandre J.E. Yersin veba etkeni olarak tanımlamış, *Yersinia enterocolitica* türünü ise Frederiksen ve ekibi 1960 yılında tanımlamışlardır. Gıda kaynaklı Yersiniozis vakasının ilk olarak, 1976 yılında New York'ta, okul çocuklarında çikolatalı süt tüketimi sonucu ortaya çıktığı bilinmektedir [3].

Yersinia grubu içerisinde medikal öneme sahip *Y. pestis*, *Y. pseudotuberculosis* ve *Y. enterocolitica* olmakla birlikte 11 tür bulunmaktadır. *Yersinia* soyu, *Enterobacteriaceae* familyası üyelerindedir. Bu bakteriler, gram negatif, sporsuz, çubuk-kokobasil görünümünde, H₂S oluşturmeyen, birkaç türü hariç nitratı indirgeyebilen, fermantatif, oksidaz negatif ve katalaz pozitif canlılardır [4-6].

Yersinia türleri psikrotrof bakteri özelliği göstererek, -1.3-42 °C'ler arasında üreyebilirken en iyi üreme sıcaklıkları 28-30 °C'dir. Ayrıca, 4.2-9.6 pH değerleri arasında gelişebilirlerken, optimum pH aralığının 7.0-7.2 olduğu bilinmektedir. Bununla birlikte su aktivitesinin minimum 0.96 olduğu ortamlarda iyi gelişmektedirler [3].

Yapılan son araştırmalarda Yersiniozisten kaynaklı hastalık vakasının ABD'de 117000, hastaneye yatış sayısının 640 ve bu hastalıktan hayatını kaybedenlerin sayısının da 35 olduğu bildirilirken, bu hastalığın 2015 yılından beri artış gösterdiği belirtilmiştir [7-8].

Yersiniozis, Avrupa'da Salmonelloz ve Campylobacteriosis'den sonra bildiriimi zorunlu olan mikroorganizma kaynaklı hastalıklar içerisinde üçüncü sırada yer almaktadır. *Yersinia* türlerinin psikrotrof özellikleri nedeniyle dondurma işlemine dirençli oldukları, bu sebeple -18 °C'de donmuş piliç etlerinde 90 gün boyunca canlılıklarını koruyabildikleri de bildirilmiştir [3,9].

Yersinia türleri içerisinde gıda güvenliği ve enfeksiyonları yönünden en önemli türün özellikle *Y. enterocolitica* olduğu bilinmektedir. *Y. enterocolitica*'nın çoğunlukla kontamine gıdalar (çiğ veya az pişmiş domuz eti gibi), pastörize edilmemiş süt, yeterince pastörize edilmemiş süt, arıtılmamış su veya hayvanlarla temas yoluyla bulaşabileceği birçok araştırmada vurgulanmıştır [3,10].

Sebebi olduğu hastalıklar arasında enterocolitis, bakteriyemi, septisemi, myokardit, endokardit, pnümoni, artrit, osteomyelitis, selülitis örnek olarak sayılabilir [4].

Özellikle son zamanlarda yapılan araştırmalar dünyada domuz eti ve ürünleri, tavuk etleri, sığır ve koyun etlerinde bu etkene rastlanma sıklığının % 10-50 arasında değiştiği belirtilmektedir [3,11-14]. Örneğin, Sirghani ve arkadaşları [14] İran'da perakende satışa sunulan tavuk etlerinde *Yersinia* türlerinin varlığı üzerine yapmış oldukları çalışmada; konvansiyonel yöntemle % 30 olarak belirledikleri *Yersinia* türlerini, PCR yönteminde % 25 oranında *Y. enterocolitica* olarak tanımladıklarını bildirmişlerdir. Araştırmacılar *Y. enterocolitica*'nın tavuk etlerinde önemli seviyede bulunduğunu, bunun da halk sağlığı açısından ciddi problemlere yol açabileceğini belirtmişlerdir.

Nørrung ve Buncic [15] 2005 yılında Avrupa Birliği'nde gıda enfeksiyonlarının önemli bir kısmını et ve ürünlerinin oluşturduğu belirtilerek, *Yersinia* türlerinin insidansının 100.000 kişide 2.6 olduğunu ileri sürmüşlerdir. Zoonoz hastalıkların coğrafik faktörlere, yetiştirme ve ürün eldesi gibi şartlara bağlı olarak % 1-10 seviyelerinde ortaya çıktığını belirtmişler, zoonotik patojenlerin et ve ürünlerinde çiftlikten çatala tüm aşamalarda kontrolünün gerekliliğini ortaya koymuşlardır.

Anlatılanlardan yola çıkarak, bu çalışmada ülkemizin genelinde olduğu gibi Siirt ilinde de sevilerek tüketilen tavuk kanatlar çalışılmıştır. İl genelinde satışı yapılan çiğ tavuk kanatlarda bazı biyokimyasal nitelikler saptanırken, özellikle *Y. enterocolitica*'nın varlığı ve yaygınlığı belirlenerek, halk sağlığı açısından potansiyel bir tehdit oluşturup oluşturmayacağı ortaya konmuştur.

2. Materyal ve Metot

Çalışma Mayıs, Haziran ve Temmuz aylarında gerçekleştirilmiştir. Bu süreçte Siirt il merkezinde faaliyet gösteren market ve şarküterilerden en az 200 g olacak şekilde, çiğ tavuk kanatlardan 20 adet örnek alınmıştır. Satıcılardan alınan örnekler 1 saat içerisinde Siirt Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü Laboratuvarına getirilerek su aktivitesi, pH, oksidasyon-redüksiyon potansiyelleri ve *Yersinia*

türleri yönünden analizleri gerçekleştirilmiş, sonuçlar elde edilene kadar ise + 4 °C’de muhafaza edilmişlerdir.

2.1. Fizikokimyasal Analizler

Örneklerde su aktivitesinin tespiti Novasina, LabTouch®-aw, Lachen, Switzerland markalı cihaz ile Welti-Chanes ve arkadaşları [16] tarafından önerilen metoda göre yapılmıştır. pH ve Oksidasyon-Redüksiyon (O/R; Eh) potansiyeli değerlerinin belirlenmesinde ise Gökalp ve arkadaşları [17] tarafından önerilen metoda göre Mettler Toledo SevenCompact™ S220 (Çin) markalı cihaz kullanılmıştır.

2.2. *Yersinia* Türlerinin İzolasyon Ve İdentifikasyonu

Yersinia türlerinin izolasyonunda ISO’nun 10273:2017 nolu metodu [18] kullanılmış olup, her bir örnekten aseptik koşullarda 10 g alınarak 90 ml PSB (Pepton Sorbitol Broth and Bile Salts, Condalab, 1298.00, İspanya) broth besiyerine aktarılmış ve 2 dakika boyunca stomacherde (SJIA-04C Stomacher Blender, Çin) homojenize edilmiştir. Elde edilen homojenat aerob koşullarda 25°C’de 48 saat boyunca inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonunda, bu homejenattan bir öze dolusu alınarak, *Yersinia* Selective Supplement ((CIN), Merck, 1.16466, Almanya) ilaveli *Yersinia* Selective Agar (CIN, Merck, 1.16434, Almanya)’a tek koloni düşecek şekilde çizim yapılmıştır. Daha sonra petri kutuları 25 °C’de 24-48 saat inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon sonunda öküç gözü olarak da nitelendirilen, merkezi koyu kırmızı ve etrafı şeffaf zon ile çevrili olan koloniler şüpheli *Yersinia* kolonileri şeklinde değerlendirilmiştir [4,6].

Yersinia türleri, Gram negatif, çubuk veya kokobasil, spor oluşturmeyen, oksidaz negatif, katalaz pozitif, fermentatif, gaz oluşturmeyen, *Y. pestis* hariç 25°C’de hareketli 37°C’de hareketsiz, H₂S oluşturmeyen özellikleri sayesinde çoğunlukla *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Salmonella*, *Klebsiella* gibi *Enterobacteriaceae* familyası üyelerinden farklılık gösterirler (Çizelge 1).

Çizelge 1. *Yersinia* spp. izolasyon testleri [4,6,19]

| <i>Yersinia</i> spp. | Gram boyama | Mikroskopik | Oksidaz | Katalaz | Fermentatif / gaz oluşum | SIM ve Nitrat Motility Medium’da Hareket (<i>Y. pestis</i> hariç) | |
|----------------------|-------------|----------------------|---------|---------|--------------------------|--|------------|
| | - | Çubuk veya kokobasil | - | + | +/- | 37 °C’de - | 25 °C’de + |

Yersinia türlerinin ayırımında ise izolasyon aşamasından sonra bu çalışmada elde edilen suşların 25 °C ve 37 °C sıcaklıklarda üreaz, nitrat indirgeme, hareket, indol, metilred, voges proskauer, sitrat testleri ile Kligler yatık agarda; glikoz, laktoz fermentasyonu, gaz oluşumu ve H₂S oluşumu yönünden incelenmiştir (Çizelge 2).

Çizelge 2. *Y. enterocolitica* ve *Y. intermedia* identifikasyon testleri

| <i>Y. enterocolitica</i> | Üreaz | Nitrat indirgeme | Hareket | İndol | Metilred | Voges Proskauer | Sitrat | Kligler Yatık Agar | | | |
|--------------------------|-------|------------------|---------|-------|----------|-----------------|--------|--------------------|----------------|-----|--------------|
| | | | | | | | | H ₂ S | Fermente (G+L) | Gaz | Asit oluşumu |
| 25 °C | + | + | + | d | - | + | - | - | + | - | - |

| | | | | | | | | | | | |
|----------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|---|---|
| 37 °C | + | + | - | d | + | - | - | - | + | - | + |
| <i>Y. intermedia</i> | | | | | | | | | | | |
| 25 °C | + | - | + | + | + | + | - | - | G+ | - | + |
| 37 °C | + | + | - | - | + | - | - | - | G+ | - | + |
| | | | | | | | | | L+ | | |

d: değişken, +:pozitif, -: negatif; G:Glikoz, L:Laktöz

Çizelge 2. Devamı

2. 3. İstatistiksel Değerlendirme

Çalışmamız iki tekerrür ve üç paralel olarak gerçekleştirilirken, elde edilen analiz sonuçlarının değerlendirilmesinde örnekler arasındaki farklılıkların istatistiksel açıdan önemli olup olmadığını belirlemek amacıyla SPSS-22 (Statistical Package for Social Sciences) paket programında tek yönlü varyans analizi ve Duncan testi kullanılmıştır [20].

3. Bulgular ve Tartışma

Piyasadan toplanan örnekler için su aktivitesi, pH ve oksidasyon-redüksiyon (O/R) potansiyeli değerleri Çizelge 3'te sunulmuştur. Yapılan istatistik analizler sonucunda su aktivitesi değerleri arasındaki farklılığın $P < 0.05$ seviyesinde önemli olduğu anlaşıldığında, pH ve Oksidasyon-redüksiyon değerleri arasındaki farklılık $P < 0.01$ seviyesinde önemli çıkmıştır. Su aktiviteyi 0.96-0.98 aralığında belirlenirken, en yüksek su aktiviteyi 0.98 olarak beş, altı ve on bir numaralı örneklerde olduğu tespit edilmiştir. Örneklerin pH değerleri 5.56-7.09 aralığında belirlenirken, en düşük pH değeri 5.56 olarak on beş numaralı örnekte ölçülmüştür. Ayrıca kanatların O/R aralığı 22.45-54.90 mV olarak saptanırken, en yüksek O/R potansiyeli 54.90 olarak on beş numaralı örnekte bulunmuştur. Yine aynı çizelge incelendiğinde; örneklerin üçünde *Y. enterocolitica*, bir tanesinde ise *Y. intermedia* tespit edildiği görülebilir (Çizelge 3).

Çizelge 3. Tavuk kanat örneklerinin bazı fizikokimyasal özellikleri ve *Yersinia* türlerinin varlığı

| Örnek | a_w | pH | O/R (mV) | <i>Y. enterocolitica</i> | <i>Y. intermedia</i> |
|-------|---------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|----------------------|
| 1 | 0.965±0.007 ^{bc} | 7.09±0.007 ^a | 22.45±0.05 ^m | - | - |
| 2 | 0.965±0.007 ^{bc} | 6.74±0.007 ^{fg} | 45.95±0.05 ^e | - | - |
| 3 | 0.96±0.00 ^c | 6.58±0.014 ⁱⁱ | 53.60±0.20 ^b | - | - |
| 4 | 0.97±0.00 ^{abc} | 6.81±0.014 ^d | 41.80±0.10 ^h | - | - |
| 5 | 0.98±0.00 ^a | 6.88±0.007 ^c | 37.55±0.05 ^j | - | - |
| 6 | 0.98±0.00 ^a | 6.74±0.007 ^{fg} | 45.15±0.05 ^f | - | - |
| 7 | 0.97±0.00 ^{abc} | 6.78±0.014 ^e | 43.60±0.20 ^g | - | - |
| 8 | 0.965±0.007 ^{bc} | 6.71±0.007 ^h | 46.65±0.05 ^d | - | - |
| 9 | 0.97±0.00 ^{abc} | 6.89±0.007 ^c | 37.30±0.10 ^j | - | - |
| 10 | 0.975±0.007 ^{ab} | 6.73±0.014 ^{gh} | 46.05±0.05 ^e | - | - |

| | | | | | |
|----|---------------------------|--------------------------|-------------------------|---|---|
| 11 | 0.98±0.00 ^a | 6.59±0.007 ⁱ | 52.80±0.14 ^c | - | - |
| 12 | 0.965±0.007 ^{bc} | 6.89±0.007 ^c | 38.35±0.07 ⁱ | - | - |
| 13 | 0.965±0.007 ^{bc} | 6.77±0.014 ^c | 43.80±0.14 ^g | - | - |
| 14 | 0.97±0.00 ^{abc} | 6.59±0.007 ⁱ | 53.05±0.07 ^c | - | - |
| 15 | 0.97±0.00 ^{abc} | 5.56±0.0014 ⁱ | 54.90±0.14 ^a | - | - |
| 16 | 0.965±0.007 ^{bc} | 6.74±0.007 ^{fg} | 44.95±0.07 ^f | - | - |
| 17 | 0.965±0.007 ^{bc} | 6.94±0.014 ^b | 34.90±0.14 ^k | - | + |
| 18 | 0.965±0.007 ^{bc} | 6.82±0.007 ^d | 40.75±0.35 ⁱ | + | - |
| 19 | 0.965±0.007 ^{bc} | 6.76±0.007 ^{ef} | 41.95±0.07 ^h | + | - |
| 20 | 0.965±0.007 ^{bc} | 6.95±0.014 ^b | 34.30±0.14 ^l | + | - |

Aynı sütun içerisindeki farklı harfler örnekler arası farklılığı ifade etmektedir.

Çizelge 3. Devamı

Bu değerlere göre bütün örneklerin su aktivitesi oranlarının Mitrovic ve arkadaşları [21]'nin *Y. enterocolitica* için en iyi üreyebildikleri 'yüksek su aktiviteli ortamlar' ifadesine uygunluk gösterdikleri anlaşılırken, benzer şekilde pH bakımından Erdoğan ve arkadaşları [22] tarafından *Y. enterocolitica* için optimum olarak belirtilen 4.0-8.0 aralığında oldukları da görülmüştür (Çizelge 3).

Örneklerin su aktivitesi değerlerinin yüksek oluşu bu oranlarda iyi gelişme gösterdikleri bilinen başta *Y. enterocolitica* olmak üzere diğer *Yersinia* türlerinin de yaygın bulunabileceğinin göstergesi olarak kabul edilebilir. pH değerlerinin ise *Yersinia* türlerinin dışında da bozulma yapan ve/veya gıda kaynaklı patojen olan birçok bakterinin üreyebileceği optimum koşulları sağladığını düşündürmektedir. Bilindiği üzere gıdaların oksijen ile teması sonucunda elektron alması oksidasyon, elektron kaybetmesi ise redüksiyon olarak tanımlanmaktadır. Bu bağlamda aerob özellikteki mikroorganizmalar pozitif, anaerobik mikroorganizmalar negatif Eh'ya sahiptirler. *Yersinia* türleri fakültatif anaerob özellikleri nedeniyle oksijen eksikliğinde bile gelişim gösterirler. Bu sebeple oksidasyon redüksiyon potansiyeli değerlerinin pozitif veya negatif olabileceği düşünülmektedir. Böylece, yapılan bu çalışmada belirlenen oksidasyon redüksiyon potansiyeli değerlerinin *Y. enterocolitica*'nın gelişebileceği değerler arasında oldukları anlaşılmaktadır (Çizelge 3).

Çalışmanın mikrobiyolojik kısmında, incelenen toplam 20 tavuk kanat örneğinde farklı oranlarda *Yersinia* türleri tespit edilmiştir (Çizelge 3). İncelenen çiğ ızgaralık tavuk kanatlarının dördünde (% 20) *Yersinia* spp. izole edilmiştir. Bu izolatların üçü (% 15) *Y. enterocolitica* ve biri (% 5) de *Y. intermedia* olarak tanımlanmıştır (Çizelge 3).

İnsanlarda görülen Yersiniozis etkenlerinin gıda kaynaklı Yersiniozis ile ilişkisinin anlaşılması üzerine, son yıllarda enfeksiyonların artmasına paralel olarak, konunun önemi daha net anlaşılmıştır. Özellikle tavuk ve ürünlerinin bu bakteri ile kontaminasyonu ve insanların bu gıdaları tüketmeleri durumunda ortaya ciddi sağlık problemlerinin çıkabileceğine dair birçok çalışma mevcuttur [9,10,13,23-25].

Bunun yanında sebep olduğu ekonomik kayıpların önemli boyutlarda olduğu da birçok çalışmada vurgulanmıştır [26-28]. Çalışmamıza benzer şekilde;

Günşen [11] (2004), tarafından Bursa'da yapılan bir çalışmada incelenen tüm örneklerin 82 (%21.87)'sinde *Y. enterocolitica* varlığı tespit edilirken, 75 tavuk but örneğinin %25.33'ünde ve 100 adet tavuk burger örneğinin %17'sinde *Y. enterocolitica* saptanmıştır.

Sirghani ve arkadaşları [14] İran'da perakende satılan 100 tavuk but örneğinde *Y. enterocolitica* varlığının belirlenmesi üzerine yaptıkları çalışmada; klasik yöntemde %30 oranında *Yersinia* spp.

belirlediklerini, izole ettikleri bu suşların da PCR yöntemiyle %25'inin *Y. enterocolitica* olarak tanımladıklarını bildirmişlerdir.

Capita ve arkadaşları [23] İspanya'da 40 adet tavuk karkas eti örneğinin 26 (%65)'sının *Yersinia* spp. ile kontamine olduğunu, sadece *Y. enterocolitica* 22 (%55)'sinde, *Y. frederiksenii* ise 6 (%15)'sında belirlerken; iki örneğin hem *Y. enterocolitica* hem de *Y. frederiksenii* içerdiğini belirtmişlerdir. İspanya'da *Yersinia* türlerinin tüketiciler için önemli sağlık problemlerine neden olabileceğini ortaya koymuşlardır. Çapraz bulaşmanın önlenmesi ve pişirmeden emin olmak için, tavuk eti hazırlayan, son ürün haline getirenleri de kapsayacak şekilde eğitilmelerinin gerekli olduğunu savunmuşlardır.

Yapılan bu çalışmada *Yersinia* türlerinin tespit edilme oranının bazı araştırmacıların [11,12,14,23] özellikle tavuk etlerinde belirledikleri değerlerden düşük olduğu anlaşılmıştır. Bu farklılıkların ortaya çıkmasında başta hammadde olan tavuk karkaslarının mikrobiyolojik yükü yanında, incelenen örnek sayısının, örneklerin temin edilme koşullarının, izolasyonda ve idenfikasyonda kullanılan metotların farklı olmasının etkili olabileceği düşünülmektedir.

Aghamohammad ve arkadaşları [29] İran'da, 226 tavuk eti ve 224 sığır eti olmak üzere toplamda 450 örneğin *Yersinia* türleri yönünden inceledikleri çalışmada; tüm örneklerin 70 (%15.5)'inde *Yersinia* spp. saptadıklarını, tavuk etlerinde belirledikleri 48 *Yersinia* türlerinin 35'inin *Y. enterocolitica*, 8'inin *Y. frederiksenii*, 4'ünün *Y. intermedia* ve 1'inin de *Y. kristensenii* olduğunu açıklamışlardır.

Momtaaz ve arkadaşları [30] yaptıkları çalışmada, İran'da 750 çiğ tavuk et örneğinde PCR tekniği kullanılarak 132 (%18.3) örneğin *Y. enterocolitica* ile kontamine olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar İran'da *Y. enterocolitica* enfeksiyonunda tavuk etlerinin önemli potansiyel kaynaklarından biri olduğunu vurgulamışlardır.

Younis ve arkadaşları [31] Mısır'da 120 tavuk eti, 30 sığır köfte, 30 sığır burger ve 30 sucuk örneğini *Y. enterocolitica* yönünden incelemişlerdir. 19 (%15.83) tavuk eti, 3 (%10) sığır köfte, 5 (%16.67) sığır burger ve 3 (%10) sucuk örnekleri olmak üzere toplamda 30 örnekte %14.29 oranında *Y. enterocolitica* izole etmişlerdir. İzolatların %50-80 arasında değişen oranlarda çeşitli antibiyotiklere karşı dirençli olduklarını belirlemişlerdir. İnceledikleri ürünlerin başta bu ürünlerle teması olan kişilerin, işletmecilerin, personelin ve kesimhanede görevli personellerin, karkas dekontaminasyonunu sağlamak için mutlaka hijyenik koşullara uymalarının gerekliliğini savunmuşlardır.

Mahdavi ve arkadaşları [32] İran'da 60'ı paketlenmiş ve 60'ı paketlenmemiş broiler tavuk etlerinde *Y. enterocolitica*'yı %15.8 oranında tespit ettiklerini, paketlenmiş etlerin 8 (%13.3)'inin ve paketlenmemiş etlerin ise 11 (%18.3)'inin *Y. enterocolitica* ile kontamine olduğunu bildirmişlerdir. 30 adet dondurulmamış ürünün 7 (%23.3)'sinde, 30 adet dondurulmuş etlerin 4 (%13.3)'ünde, yine 30 adet taze kesilmiş tavuk etlerinin 2 (%6.6)'sinde ve 30 adet taze olmayan tavuk etlerinin 7 (%23.3)'sinden *Y. enterocolitica* varlığını saptamışlardır.

Siirt ilinde satışa sunulan ızgaralık tavuk kanatlarında *Yersinia* türlerinin yaygınlık durumu bazı araştırmacıların tavuk etlerinde belirledikleri [29-32] bulgularla yakın benzerlik göstermiştir. Tür düzeyinde tespit edilme oranı yönünden bu çalışmada en fazla *Y. enterocolitica* tespit edilirken, bunu takip edenin ise *Y. intermedia* olduğu anlaşılmıştır. Bu sonuçta, Aghamohammad ve arkadaşları [29], Capita ve arkadaşları [23] ve Sirghani ve arkadaşları [14] tarafından yapılan çalışmaların sonuçları ile uyum göstermiştir.

Sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde; diğer çalışmalar ile olan benzerlik ve farklılıkların çalışmada kullanılan karkas, but ve kanat gibi değişik ürünlere bağlı olduğu, bu ürünlerin soğukta muhafaza koşulları, ambalaj özelliği, örneklerin temin edildiği işletmelerin hijyen koşulları, örnek sayısı, çalışmanın yapıldığı mevsim ile işletmedeki hijyen uygulamalarının bu patojen grubun varlığı üzerinde etkili oldukları anlaşılmaktadır.

4. Sonuçlar

Yapılan bu çalışma sonucunda; Siirt ilinde satışa sunulan ızgaralık tavuk kanatlarında, özellikle su aktivitesi, pH ve O/R değerlerinin uygunluğuna da bağlı olarak bazı *Yersinia* türlerinin varlığı tespit edilmiştir. Analiz edilen bu ürünler buzdolabı koşullarında muhafaza edilseler bile bakterinin varlığı ve gelişiminin devam edeceği söz konusu olabilmektedir. Bu sebeple, *Yersinia* kontaminasyonu olan tavuk kanatlarının çiğ veya az pişmiş olarak tüketilmesi durumunda, diğer çalışmalarda da belirtildiği gibi, halk sağlığı açısından potansiyel bir tehdit oluşabileceği anlaşılmaktadır. Siirt'te et tüketiminin yaygın olması ve ekonomik şartlar nedeniyle özellikle kalabalık ailelerde kırmızı etin yerine, ucuz olan, tavuk etine yönelimin olması bu ürünlerde tespit edilen, başta *Y. enterocolitica* olmak üzere, *Yersinia* türlerinin daha da önemli hale gelmesine neden olmaktadır. Zoonotik özellik gösteren *Yersinia* türlerinin yaygınlığının azaltılması veya halk sağlığını risk etmemesi için alınması gereken önlemlerin başında; ilgili kamu kuruluşlarının *Yersinia* yönünden rutin denetimleri yapmasının, işletmelerde tavuk karkaslarının ve parçalama ürünlerinin uygun hijyenik koşullarda üretilmesinin gerekliliği anlaşılmaktadır. Buna bağlı olarak işletmecilere ve tüketicilere gıda hijyeni konularında eğitimlerin verilmesi üretim kalitesini artırırken, sektördeki ekonomik kayıpların önüne geçilmesinde de önemli katkılar sağlayacaktır.

Kaynaklar

- [1] Sharifi Yazdi MK, Soltan-Dallal MM, Bakhtiari R. Incidence and antibiotic susceptibilities of *Yersinia enterocolitica* and other *Yersinia* species recovered from meat and chicken in Tehran, Iran. *African Journal of Microbiology Research*, 2011;5(18):2649-2653.
- [2] Chlebicz A, Slizewska K. (2018). Campylobacteriosis, salmonellosis, yersiniosis, and listeriosis as zoonotic foodborne diseases: A review. *Int J Environ Res Public Health* 2018;15(863):1-29.
- [3] Erol İ. Gıda kaynaklı patojen bakteriler, in *Gıda Hijyeni ve Mikrobiyolojisi*, Pozitif Matbaacılık Ltd. Şti.: Ankara. p. 57-77, 2007.
- [4] Edward JB, Herve B, Henri HM, (2007). *Yersinia*. In Don J Brenner, Noel R. Krieg, James T. Staley & George M Garrity (Eds.), *Bergey's Manual® of Systematic Bacteriology: The Proteobacteria, Part B: The Gammaproteobacteria* (2 ed., Vol. 2, pp. 838-848). USA: Springer Science & Business Media, 2007.
- [5] Montville TJ, Matthews KR. *Yersinia enterocolitica*. In Montville TJ & Matthews KR (Eds.), *Food Microbiology* (2 ed., pp. 141-150). USA: American Society for Microbiology (ASM) Press, 2008.
- [6] Robbins-Browne, RM. *Yersinia enterocolitica*. In Doyle MP & Buchanan RL (Eds.), *Food Microbiology: Fundamentals and Frontiers* (4 ed., pp. 339-376). Washington DC: ASM Press, 2013.
- [7] Anonymous. *Yersinia enterocolitica* (Yersiniosis). CDC (Centers for Disease Control and Prevention); 2021a.
- [8] Anonymous. Foodborne diseases active surveillance network (FoodNet). *CDC (Centers for Disease Control and Prevention)*. from Foodborne Diseases Active Surveillance Network (FoodNet); 2021b.
- [9] Duan R, Liang J, Zhang J, Chen Y, Wang J, Tong J, Jing H. (2017). Prevalence of *Yersinia enterocolitica* Bioserotype 3/O : 3 among children with Diarrhea, China, 2010–2015. *Emerging Infectious Diseases* 2017;23(9):1502–1509.
- [10] Yeasmin S, Atiqur R, Ramesh Chandra R, Didier M. *Yersinia enterocolitica*: Mode of transmission, molecular insights of virulence, and pathogenesis of infection. *Journal of Pathogens*, 2011;1-10.
- [11] Günşen U. Bursa piyasasında satılan çeşitli et ürünlerinde *Yersinia enterocolitica*'nın izolasyonu ve identifikasyonu. *Gıda ve Yem Bilimi Teknolojisi Dergisi* 2004;(5)12-18.
- [12] Bonardi S, Paris A, Bassi L, Salmi F, Bacci C, Riboldi E, Brindani F. Detection, semiquantitative enumeration, and antimicrobial susceptibility of *Yersinia enterocolitica* in pork and chicken meats in Italy. *Journal of Food Protection* 2010;73(10):1785-1792.

- [13] Vanantwerpen G, Houf K, Van Damme I, Berkvens D, De Zutter L. Estimation of the within-batch prevalence and quantification of human pathogenic *Yersinia enterocolitica* in pigs at slaughter. *Food Control*, 2013;34(1):9-12.
- [14] Sirghani K, Zeinali T, Jamshidi A. Detection of *Yersinia enterocolitica* in retail chicken meat, Mashhad, Iran. *Journal of Pathogens*, 2018;1-4.
- [15] Nørrung B, Buncic S. Microbial safety of meat in the European Union. *Meat Science*, 2008;78(1-2):14-24.
- [16] Welti-Chanes J, Pérez E, Guerrero-Beltrán JA, Alzamora SM, Vergara-Balderas F. "Applications of water activity management in the food industry", In: *Water Activity in Foods: Fundamentals and Applications*, Ed; G.V. Barbosa-Cánovas, A.J. Fontana Jr, S.J. Schmidt, T.P. Labuza, Chapter 13, IFT Press, Blackwell Publishing, Iowa, USA, 2007, pp. 341-357.
- [17] Gökalp HY, Kaya M, Tülek Y, Zorba Ö. Et ve Ürünlerinde Kalite Kontrolü ve Laboratuvar Uygulama Klavuzu. (6 ed.). Erzurum: Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, 2015.
- [18] Anonymous. EN ISO 10273:2017. Microbiology of the food chain horizontal method for the detection of pathogenic *Yersinia enterocolitica*, Geneva, Switzerland Int. Org. for Standardization; 2017.
- [19] Harrigan WF. *Laboratory methods in food microbiology* (3 ed.) Academic Press. California, USA, 1998.
- [20] Corp IBM. *IBM SPSS Statistics for Windows, version 25.0 (Version 25)*. Armonk, NY: IBM Corp; 2017.
- [21] Mitrovic R, Jankovic V, Ciric J, Djordjevic V, Juric ZL, Mitrovic-Stanivuk M, Baltic B. Physical properties (pH and aw value) of fermented sausages inoculated with *Yersinia enterocolitica*. Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2019.
- [22] Erdoğan Ö, Aydın A, Ergün Ö. Değişik pH ve sıcaklık değerleri ile farklı sodyum polifosfat ve NaCl konsantrasyonlarının *Yersinia enterocolitica*'nın üremesi üzerine etkileri. *İstanbul Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi* 2005;31(1):41-53.
- [23] Capita R, Alonso-Calleja C, Prieto M, Del Camino García-Fernández, M Aa, Moreno B. Incidence and pathogenicity of *Yersinia spp.* isolates from poultry in Spain. *Food Microbiology*, 2002;19(4):295-301.
- [24] Ye Q, Wu Q, Hu H, Zhang J, Huang H. (2016). Prevalence and characterization of *Yersinia enterocolitica* isolated from retail foods in China. *Food Control*, 2016;61:20-27.
- [25] Riahi SM, Ahmadi E, Zeinali T. Global prevalence of *Yersinia enterocolitica* in cases of gastroenteritis: A systematic review and meta-analysis. *International journal of microbiology*, 2021;(2)1-17.
- [26] Roberts T. Human illness costs of foodborne bacteria. *American Journal of Agricultural Economics*, 1989;71(2):468-474.
- [27] Scharff RL. Economic burden from health losses due to foodborne illness in the United States. *Journal of Food Protection*, 2012;75(1):123-131.
- [28] Sundström K. Cost of Illness for Five Major Foodborne Illnesses and Sequelae in Sweden. *Applied Health Economics and Health Policy*. 2018 Apr;16(2):243-257.
- [29] Aghamohammad S, Gholami M, Dabiri H, Rahimzadeh G, Souod N, Goudarzi H, Sardari S Mohammadzadeh A. Distribution and antimicrobial resistance profile of *Yersinia* species isolated from chicken and beef meat. 2015; *International Journal of Enteric Pathogens*, 3(4):3-29009.
- [30] Momtaz H, Rahimian MD, Dehkordi FS. Identification and characterization of *Yersinia enterocolitica* isolated from raw chicken meat based on molecular and biological techniques. *Journal of Applied Poultry Research* 2013;22(1):137-145.
- [31] Younis G, Mady M, Awad A. *Yersinia enterocolitica*: Prevalence, virulence, and antimicrobial resistance from retail and processed meat in Egypt. *Veterinary World*, 2019;12(7), 1078-1084.
- [32] Mahdavi S, Farshchian M R, Amini K, Rad MAG, Ebadi AR. Survey of *Yersinia enterocolitica* contamination in distributed broiler meats in Tabriz City, Iran. *African Journal of Microbiology Research*, 2012;6(12):3019-3023.

DEVELOPMENT OF TEST CORPUS WITH LARGE VOCABULARY FOR TURKISH SPEECH RECOGNITION SYSTEM AND A NEW TEST PROCEDURE

Saadin OYUCU*

¹Adiyaman University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Adiyaman, 02040, Turkey

Geliş Tarihi/Received Date: 20.12.2021 Kabul Tarihi/Accepted Date: 11.03.2022 DOI: 10.54365/adyumbd.1038766

ABSTRACT

The most fundamental problem in the automatic speech recognition systems is not the development of a domain-specific automatic speech recognition system, but the development of an automatic speech recognition system with a large vocabulary. Developed automatic speech recognition systems should be tested with a large vocabulary test dataset. For this reason, an automatic speech recognition test corpus was prepared within the scope of the study. Prepared automatic speech recognition test corpus includes conversations from 20 different areas and text files of these conversations. The test procedure presented in the study was also tested on Turkish automatic speech recognition systems with a large vocabulary. It has been observed that the word error rate results ranged between 14-21%. The test corpus and test procedure with a large vocabulary prepared are guiding for the success of automatic speech recognition systems in future studies to be revealed more clearly.

Keywords: *Speech recognition, Turkish speech recognition, speech corpus, test corpus, Turkish speech corpus*

TÜRKÇE KONUŞMA TANIMA SİSTEMİ İÇİN GENİŞ KELİME DAĞARCIĞINA SAHİP TEST VERİ KÜMESİNİN GELİŞTİRİLMESİ VE YENİ BİR TEST PROSEDÜRÜ

ÖZET

Otomatik konuşma tanıma sistemlerindeki en temel sorun, alana özgü bir otomatik konuşma tanıma sisteminin geliştirilmesi değil, geniş kelime dağarcığına sahip bir otomatik konuşma tanıma sisteminin geliştirilmesidir. Geniş kelime dağarcığına sahip olacak şekilde geliştirilen otomatik konuşma tanıma sistemleri, geniş kelime dağarcığına sahip bir test veri kümesi ile test edilmelidir. Bu nedenle çalışma kapsamında bir otomatik konuşma tanıma test veri kümesi hazırlanmıştır. Hazırlanan otomatik konuşma tanıma test veri kümesi, 20 farklı alandan konuşmaları ve bu konuşmalara karşılık gelen metin dosyalarını içermektedir. Çalışma kapsamında sunulan test prosedürü, geniş kelime dağarcığına sahip farklı Türkçe otomatik konuşma tanıma sistemleri üzerinde de test edilmiştir. Elde edilen kelime hata oranı sonuçlarının %14-21 arasında değişkenlik gösterdiği görülmüştür. Geniş kelime dağarcığına sahip olacak şekilde hazırlanan test veri kümesi ve test prosedürü, ilerideki çalışmalarda otomatik konuşma tanıma sistemlerinin başarısının daha net ortaya konması için yol göstericidir.

Anahtar Kelimeler: *Konuşma tanıma, Türkçe konuşma tanıma, Konuşma veri seti, Türkçe konuşma veri seti, Test veri seti*

1. Introduction

Systems that convert human-spoken expressions into computer-readable text are called Automatic Speech Recognition (ASR) systems [1]. Many new applications have been developed with speech information converted into a format that can be understood by computers or electronic devices. ASR systems; voice command applications, smart home systems, security systems, education systems, call

* e-posta: saadinoyucu@adiyaman.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3880-3039>

centers, conference systems, automatic speech reporting, dictation software, etc. used in many fields or applications. The expected success from ASR systems, the usage area of which is increasing day by day, is to be able to understand speech with human ear sensitivity and transfer it to text. To achieve this expected success from ASR systems, it is necessary to use different disciplines together. However, this situation complicates the general structure of ASR systems and complicates the development processes. For this reason, although intensive studies have been carried out on ASR, the desired level of success has not been reached yet. In a classical ASR architecture, there are important components such as Feature Extraction, Decoder, AM Acoustic Model, LM: Language Model and Lexicon. The combination of these components increases the complexity of ASR systems but has a great impact on success rates [2]. Speech and text data are used to create AM, LM and Lexicon required for ASR systems. These data must have some features to be used in AM and LM training.

The data must match speech and text equivalents, and records must be obtained from multiple speakers and speakers of different genders. Preparing the required corpus for ASR brings different times, costs and difficulties for different languages. Turkish is a language with rich morphology. The productive morphology of Turkish allows the formation of many unique word forms. For this reason, Turkish is among the languages with a large vocabulary. The large vocabulary increases the size of the recognizable word set required for speech recognition. With the increase in the size of the recognizable word set required for speech recognition, two main problems arise. The first of these problems is that the corpus to be used in the training process must contain a lot of speech and text data. Acoustic information required for AM can be obtained from a large training corpus. Another problem is the modeling of agglutinative, long sentences, and productive language structure.

In the literature, it has been seen that many studies have been done on Turkish ASR. Studies on AM have attempted to develop systems that are not affected by the speaker and accent changes [3,4]. In a different study, models containing more than one accent sample were developed for the training of the acoustic model [5]. However, it is not enough to include more than one accent sample in the training corpus. For this reason, improvements have been made on acoustic modeling within the scope of the study [5]. Other studies in the literature have been carried out on language modeling. Recent work has focused on attention-based model development and the development of language model integration for ASR systems using decoders. Zeineldine et al. investigated methods for integrating an external language model trained on unpaired text data into ASR. They proposed a method to predict an implicit internal language model directly from the attention-based encoder-decoder model [6]. Gandhi and Rastrow proposed a system that learns to reassess the output of the ASR system. End-to-end approaches are combined with a traditional structure using an attention-based distinctive language model [7]. These studies have increased the overall success of ASR with the effect of the language model. However, most research on the language model has focused on the effect of LM size on ASR [8-12]. The results revealed the necessity of large-scale language models, especially for agglutinative languages such as Turkish. For a large-sized language model, a large amount of text data is needed.

When the related studies are examined, it is seen that there is a deep relationship between the models used in the creation of ASR systems and the dataset used in the development of these models. Dataset is an important problem in studies on low-resource languages. Speech and text data required for ASR are not available for low-resource languages such as Turkish, apart from a few academic studies. In the development and testing of Turkish ASR systems, METU 1.0 sound corpus, prepared by Bogaziçi University in 2012 [13] and the METU corpus provided by METU, was generally used [14]. The vocabulary of these datasets is insufficient for Turkish. Therefore, an ASR system with a large vocabulary cannot be developed. In addition, testing processes of ASR systems with a large vocabulary cannot be performed successfully. A piece of test data separated from the training dataset is used in the testing of ASR systems. Therefore, an ASR system with a large vocabulary has not been developed. In addition, testing process of ASR systems with a large vocabulary could not have been performed successfully. For example, the dataset prepared by Bogaziçi University only includes news speeches. In this case, the ASR system developed with a dataset containing only news conversations, will not be able to transcribe the conversations in a field such as sports or technology.

In the literature, different studies have been carried out to solve the problem of a large vocabulary. First of all, the creation of a corpus with a large vocabulary was studied and ASR systems with a large vocabulary were developed [15,16]. However, a balanced Turkish dataset of spontaneous conversations and conversations in different fields is not currently available. In addition to academic studies, technology companies such as Google, Amazon and Microsoft have also carried out studies on the problem of large vocabulary in ASR systems. Google, Amazon and Microsoft companies state that they offer their ASR service with a large vocabulary. However, there is currently no test corpus to be used in the large vocabulary tests of Turkish ASR systems, both developed in academic studies and offered as a service by technology companies. Therefore, within the scope of the study, first of all, a test corpus containing conversations from different fields that can be used in large vocabulary testing of Turkish ASR systems was prepared.

The Turkish ASR test corpus prepared is related to science, technology, economy, etc. It includes conversations from 20 different areas and text files of these conversations. For large vocabulary tests, a Word Error Rate (WER) based test procedure has been prepared. This test procedure has been tested on Google Speech to Text, Amazon Transcribe and Azure Speech to Text services. The prepared test procedure was also tested on the Turkish ASR system, which has a large vocabulary presented by Polat and Oyucu in 2020 [15]. When the WER results obtained within the scope of the study were examined, it was observed that the word error rates varied between 14 and 21%. In addition, it has been observed that different ASR services have their advantages and disadvantages. The test dataset and test procedure with a large vocabulary will guide the success of ASR systems in future studies.

2. Preparation of The Turkish ASR Test Corpus

In speech recognition systems developed specifically for the field, the vocabulary of spoken words belongs to a certain set. However, it is not possible to carry out spontaneous conversations with words belonging to a certain topic. Therefore, within the scope of this study, a test corpus was prepared to test Turkish ASR systems with a large vocabulary.

The vocabulary of words used in real life is quite large. Besides, the number of words spoken in rich languages such as Turkish is very high. In addition, conversations in daily life consist of different domains. For example, sports, politics, or science represent a few of these domains. For this reason, a test corpus consisting of different domains has been prepared to test the academic studies in the literature and Turkish ASR systems with a large vocabulary already developed by technology companies. However, it is not enough to just create the test corpus from different domains. Different speakers from different domains should be included in the corpus. For this reason, data were obtained from speakers of different genders in different domains. The domains and speaker information determined for the test corpus prepared are given in Table 1.

As seen in Table 1, 20 different domains spoken in daily life in Turkish were added to the test corpus. The parliamentary speeches, which are one of these domains, were obtained from the minutes of the Turkish Grand National Assembly. Conversations about other fields were selected on YouTube. Since there are text equivalents in the minutes of the parliamentary speeches, the transcripts were used in the speech-text matching. However, the text equivalent of the speeches received on YouTube was obtained by real users by listening to the speech recording. In addition, by keeping the gender distribution balanced, the test corpus was ensured to be more effective. For this reason, speech recordings were obtained from a total of 286 different speakers, 143 male and 143 female speakers. The information about the speeches made by different speakers according to a different domain is given in Table 2.

Table 1. Speaker information by domain

| Domain Name | Speaking Time / Seconds | Number of Male Speakers | Number of Female Speakers |
|-------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|
| Science | 335 | 5 | 5 |
| Education | 327 | 5 | 5 |
| Economy | 703 | 9 | 9 |
| Philosophy | 325 | 5 | 5 |
| Physics | 318 | 5 | 5 |
| News | 325 | 5 | 5 |
| Weather | 397 | 5 | 5 |
| Law | 287 | 5 | 5 |
| Business | 393 | 5 | 5 |
| Culture | 1.067 | 10 | 10 |
| Magazine | 960 | 12 | 12 |
| Math | 301 | 5 | 5 |
| Parliament | 2.088 | 19 | 19 |
| Humor | 227 | 5 | 5 |
| Health | 838 | 11 | 11 |
| Art | 805 | 10 | 10 |
| Sociology | 305 | 5 | 5 |
| Sport | 425 | 6 | 6 |
| Agriculture | 355 | 5 | 5 |
| Technology | 431 | 6 | 6 |
| Total | 11.212 | 143 | 143 |

The contributions of different speakers, who gave speeches in different domains, to the test corpus according to their gender are shown in Table 2. However, just the number of speakers or speaking time is not enough to test an ASR system with a large vocabulary. The number of words in the conversations is as important as the speaking time. For this reason, the vocabulary of the speeches in the test corpus is given in Table 3. Vocabulary can be easily tested with unique words. Gender difference will reveal accent differences. The gender difference and the high number of speakers in the dataset will enable to encounter more discourse examples in the test set. Besides, the higher the gender and the number of speakers in the training dataset, the more robust the acoustic model will be.

Table 2. Speaker durations by domain

| Domain Name | Total Speaking Time of Male Speakers / Seconds | Total Speaking Time of Female Speakers / Seconds | Total Speaking Time / Seconds |
|-------------|--|--|-------------------------------|
| Science | 184 | 151 | 335 |
| Education | 160 | 167 | 327 |
| Economy | 388 | 315 | 703 |
| Philosophy | 147 | 178 | 325 |
| Physics | 170 | 148 | 318 |
| News | 191 | 134 | 325 |
| Weather | 179 | 218 | 397 |
| Law | 132 | 155 | 287 |
| Business | 212 | 181 | 393 |
| Culture | 667 | 400 | 1.067 |

| | | | |
|-------------|-------|-------|--------|
| Magazine | 477 | 483 | 960 |
| Math | 167 | 134 | 301 |
| Parliament | 1.116 | 972 | 2.088 |
| Humor | 119 | 108 | 227 |
| Health | 442 | 396 | 838 |
| Art | 394 | 411 | 805 |
| Sociology | 171 | 134 | 305 |
| Sport | 225 | 200 | 425 |
| Agriculture | 208 | 147 | 355 |
| Technology | 250 | 181 | 431 |
| Total | 5.999 | 5.213 | 11.212 |

Table 2. Continue

Table 3. Number of words by domain

| Domain Name | Number of Words | Number of Unique Word |
|-------------|-----------------|-----------------------|
| Science | 633 | 424 |
| Education | 632 | 414 |
| Economy | 1576 | 907 |
| Philosophy | 651 | 424 |
| Physics | 673 | 422 |
| News | 587 | 436 |
| Weather | 898 | 476 |
| Law | 520 | 381 |
| Business | 789 | 505 |
| Culture | 1440 | 927 |
| Magazine | 1711 | 970 |
| Math | 712 | 383 |
| Parliament | 3.723 | 1.756 |
| Humor | 473 | 324 |
| Health | 1354 | 832 |
| Art | 1470 | 845 |
| Sociology | 573 | 409 |
| Sport | 892 | 568 |
| Agriculture | 694 | 466 |
| Technology | 894 | 579 |
| Total | 20.895 | 12.448 |

In Table 3, the number of words in the speeches is given. The test corpus prepared according to the determined features was used in the testing of different Turkish ASR systems with a large vocabulary. Thus, comparative experimental results were obtained on Turkish ASR studies and services with a large vocabulary.

3. Test Procedure for ASR Systems

In this study, firstly, a test corpus was prepared to test Turkish ASR systems with a large vocabulary. After the test corpus was obtained, an experimental procedure was prepared to carry out large vocabulary experiments. For this procedure, the algorithm that performs the WER calculation was coded using the Java language and an experimental procedure application was developed. The developed

application compares the reference text with the text in the ASR output. In addition to the work of Oyucu and Polat, Google Speech to Text, Amazon Transcribe, and Azure Speech to Text services were used to obtain comparative results on more than one Turkish ASR system. The application developed for the test procedure uses the directory structure given in Figure 1.

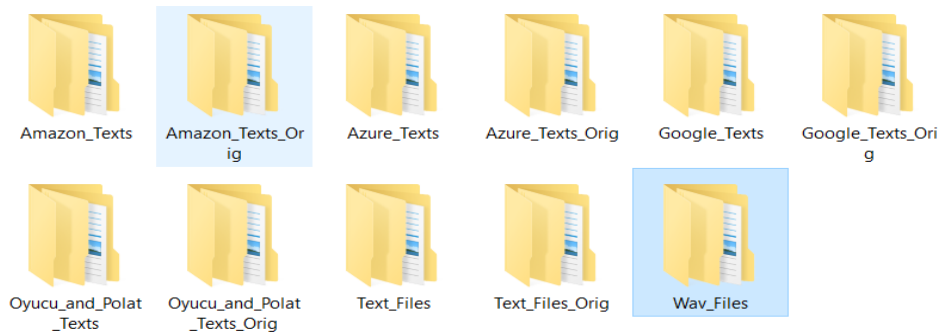


Figure 1. Test procedure directory structure

In the "Text_Files" directory in Figure 1, there are speech expressions transcribed directly by real users. In the "Wav_Files" directory, speech recordings are corresponding to text files. The "_Orig" statement at the end of the names of the folders indicates the directories where the output of the ASR system is stored without any processing on the text files. In the examinations, it has been seen that some ASR services do not only output text, numbers are written with digits, some words are written with capital letters and punctuation marks are added to the text. Therefore, all outputs of ASR systems are preprocessed from the WER calculation.

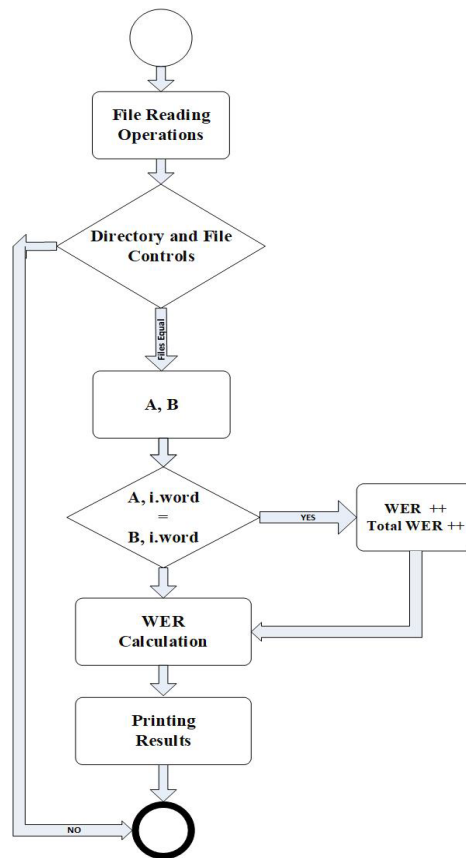


Figure 2. Flow chart for the test procedure

With the pre-processing performed before the WER calculation, the punctuation marks in the results of the Turkish ASR services were removed, uppercase letters were converted to lowercase letters, and the text equivalents of the numbers were written. Thus, a clearer WER calculation was by analogy with one another the writing of all text files. The flow chart of the realized WER account is given in Figure 2.

Necessary calculations were made according to the flow chart shown in Figure 2 and it was printed on the screen to inform the user. The flowchart given in Figure 2 was coded with the Java language and converted into an application. Thanks to the application, average, minimum and maximum WER values were obtained for each speech file. Detailed information about WER is given in detail in the study of Kentsel et al [17]. It has been stated that WER is accepted as an industry standard for measuring speech recognition accuracy.

4. Experimental Results

With the test procedure presented within the scope of the study, different Turkish ASR outputs of each speech file were obtained. Example WER calculation for the Turkish ASR output obtained is given in figure 3. In Figure 3, a transcription of a speech in the field of law is shown.

In Figure 3, two different Turkish ASR outputs of a speech speaking in the field of law are shown. While the first text given as output represents the system developed by Polat and Oyucu, the second output represents the Google Speech to Text service. The original text shown in the figure includes the reference text of the speech transcribed by real users. Thus, each speech file was output according to different ASR systems and WER calculation was performed for each output. The total success of the ASR services is presented to the user by performing the average WER calculation. In addition to the average WER calculation, minimum and maximum WER calculations were performed (Table 4).

```

%%%%%% Sample File: Law_Male_01 %%%%%
Oyucu_and_Polat_hyp :
değişikliğinin nasıl yapılacağını göreceğiz arkadaşlar birçok arkadaşımızın kafasında soru işareti kanun değişikliği nasıl yapıldı ve
anayasa değişikliğini nasıl yapıldığı bir sonraki videoda anayasa değişikliğinin nasıl yapılacağını göreceğiz arkadaşlar kanunları
koymak kanunları değiştirmek ve kaldırma türkiye büyük millet meclisini görev ve yetkisi içerisinde yer alır

Google_hyp :
değişikliğini nasıl yapılacağını göreceğiz bir çok arkadaşımızın kafasında soru işareti nasıl yapıldı ve anayasa değişikliğini nasıl
yapıldığı bir sonraki videoda da nasıl değişikliğinin nasıl yapılacağını göreceğiz arkadaşlar kanunları koymak kanunları değiştirmek ve
kaldırmak türkiye büyük millet meclisinin görev ve yetkisi içerisinde

Original_Text :
değişikliğinin nasıl yapılacağını göreceğiz arkadaşlar birçok arkadaşımızın kafasında soru işareti kanun değişikliğinin nasıl yapıldığı ve
anayasa değişikliğinin nasıl yapıldığı bir sonraki videoda da anayasa değişikliğinin nasıl yapılacağını göreceğiz arkadaşlar kanunları
koymak kanunları değiştirmek ve kaldırma türkiye büyük millet meclisinin görev ve yetkisi içerisinde yer alır

Oyucu_and_Polat_Law_Male_01_WER : 15.0%
Google_Law_Male_01_WER : 22.0%

```

Figure 3. Comparative WER results

Table 4. WER results for different Turkish ASR systems

| Name of Turkish ASR System | Minimum WER | Maximum WER | Average WER |
|----------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Polat and Oyucu | 0.0 | 68.0 | 20.24 |
| Google Speech to Text | 1.0 | 96.0 | 20.75 |
| Amazon Transcribe | 0.0 | 77.0 | 19.25 |
| Azure Speech to Text | 0.0 | 58.0 | 14.35 |

When the results in Table 4. were examined, it was seen that the Azure Speech to Text service gave the best average WER result for Turkish. Google Speech to Text service gave the worst average WER result. The difference between the average WER results is not very large. However, the difference between the minimum and maximum WER results is quite large. When the difference between the minimum and maximum values is examined, it is seen that Google has the highest maximum WER rate. The main reason for this high value is that Google preprocesses the speech files before exporting them to the ASR system. Speech files with noise above a certain noise ratio are not processed by Google. In addition, if a high WER rate is obtained, Google does not give results.

5. Conclusion and Recommendations

Due to the significant improvements in the success rates of automatic speech recognition systems, the application areas are increasing day by day. However, even state-of-the-art speech recognition systems that give some comparative results do not give successful results outside the vocabulary area. For this reason, first of all, related studies were reviewed. Then, a test corpus was prepared for Turkish ASR systems, where we can evaluate the large vocabulary problem. Using the prepared test corpus, a test procedure was prepared for the comparative evaluation of future Turkish ASR systems.

The test procedure prepared within the scope of the study has been tested on Google Speech to Text, Amazon Transcribe and Azure Speech to Text services. It has also been tested on the ASR system, which has a large vocabulary prepared by Oyucu and Polat in 2020. It has been observed that the obtained WER results vary between 14-21% and different ASR services have their advantages and disadvantages. Google's preprocessing of speech files and not processing files above a certain signal-to-noise ratio causes the maximum WER value to be high. However, this situation is completely different in Azure and Amazon. Therefore, they have a lower maximum WER ratio. When the existing Turkish ASR services were examined, it was seen that the problem of large vocabulary could not be solved. For this reason, studies should be carried out on the problem of large vocabulary for Turkish in future studies. The test corpus and test procedure presented in this study will guide the studies on large vocabulary. Another problem is the accent difference in rich languages such as Turkish. Turkish has many different regional accent structures. In future studies, systems that will not be affected by speech with different accents should be developed.

Acknowledgments

I would like to thank Associate Professor Hüseyin POLAT for all his efforts.

Conflict Of Interest

The authors declare that they have no conflict of interest.

References

- [1] Prakoso H, Ferdiana R, Hartanto R. Indonesian Automatic Speech Recognition system using CMUSphinx toolkit and limited dataset. *International Symposium Electronic Smart Devices 2016*: 283-286.
- [2] Miao Y. Kaldi+PDNN: Building DNN-based ASR Systems with Kaldi and PDNN. *arXiv CoRR*, 2014;1401.6:1-4, 2014.
- [3] Yang X, Audhkhasi K, Rosenberg A, Thomas S, Ramabhadran B, Hasegawa-Johnson M. Joint modeling of accents and acoustics for multi-accent speech recognition. *IEEE International Conference Acoustic Speech Signal Processing*. 2018:5989-5993.

- [4] Rebai I, Benayed Y, Mahdi W, Lorré J.P. Improving speech recognition using data augmentation and acoustic model fusion. *Procedia Computer Science*. 2017; 112:316-322.
- [5] Jain A, Singh V.P, Rath S.P. A multi-accent acoustic model using mixture of experts for speech recognition. *Annual Conference International Speech Communication Association*. 2019: 779-783.
- [6] Zeineldeen M, Glushko A, Michel W, Zeyer A, Schlüter R, Ney H. Investigating methods to improve language model integration for attention-based encoder-decoder ASR models. *Annual Conference of the International Speech Communication Association*. 2021: 2856-2860.
- [7] Gandhe A, Rastrow A. Audio-attention discriminative language model for ASR rescoring. *International Conference Acoustic Speech Signal Processing*. 2020: 7944-7948.
- [8] Anusuya M.A, Katti S.K. Speech recognition by machine, a review. *International Journal of Computer Science and Information Security*. 2009; 6:181-205.
- [9] Dikici E, Saraçlar M. Semi-supervised and unsupervised discriminative language model training for automatic speech recognition. *Speech Communication*. 2016; 83:54-63.
- [10] Irie K, Tüske Z, Alkhoulı T, Schlüter R, Ney H. LSTM, GRU, highway and a bit of attention: An empirical overview for language modeling in speech recognition. *Annual Conference of the International Speech Communication Association*. 2016: 08-12.
- [11] Siddharth D, Xinjian L, Florian M, Alan W. Domain robust feature extraction for rapid low resource ASR development. *Black Language Technologies Institute*. Carnegie Mellon University; Pittsburgh, USA. 2018; 258-265.
- [12] Inaguma H, Cho J, Baskar M.K, Kawahara T, Watanabe S. Transfer learning of language-independent end-to-end ASR with language model fusion. *IEEE International Conference Acoustic Speech Signal Processing*. 2019: 6096-6100.
- [13] Arısoy E, Can D, Parlak S, Saraçlar M, Sak H. Turkish broadcast news transcription and retrieval,” *IEEE Transaction Audio, Speech Language Processing*. 2019; 17: 874-883.
- [14] Salor Ö, Pellom B.L, Ciloglu T, Demirekler M. Turkish speech corpora and recognition tools developed by porting SONIC: Towards multilingual speech recognition. *Computer. Speech Language*. 2007; 21:580-593.
- [15] Polat H, Oyucu S. Building a speech and text corpus of Turkish: Large corpus collection with initial speech recognition results. *Symmetry*. 2020; 12: 1-19.
- [16] Abate S.T. Large vocabulary read speech corpora for four Ethiopian languages: Amharic, Tigrigna, Oromo and Wolaytta. *International Conference Language Resource Evaluation Conference Proceeding*. 2020: 4167-4171.
- [17] Urban E, Buck A, Farley P, Bullwinkle M. Evaluate and improve Custom Speech accuracy. *Microsoft Documents*, 2022: 1-5.

TBDY-2018'DE VERİLEN TASARIM SPEKTRUMLARININ ANITSAL YIĞMA YAPI SİSMİK DAVRANIŞINA ETKİSİ

Fatih AVCİL^{1*}, Ercan IŞIK², Hüseyin BİLGİN³, Hayri Baytan ÖZMEN⁴

¹⁻²Bitlis Eren Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bitlis, 13100, Türkiye

³Epoka Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Tiran, 1001, Arnavutluk

⁴Uşak Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Uşak, 64300, Türkiye

Geliş Tarihi/Received Date: 30.12.2021 Kabul Tarihi/Accepted Date: 30.03.2022 DOI: 10.54365/adyumbd.1051120

ÖZET

Bu çalışma kapsamında, 2018 yılında güncellenen Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği ile kullanılmaya başlanan tasarım spektrumlarının yığma tarzda inşa edilmiş bir minare için etkileri ortaya konmaya çalışılmıştır. Aynı deprem bölgesi içerisinde yer alan fakat her bir yerleşim birimi için özel olarak kullanılan tasarım spektrumlarının minare sismik davranışına etkisi araştırılmıştır. Çalışma ile dikkate alınan yedi farklı coğrafik konum için deprem parametreleri ile yatay ve düşey tasarım spektrumları ayrıca karşılaştırılmıştır. Örnek olarak seçilen yığma minarenin taban kesme kuvvetleri, yerdeğiştirme, periyot ve maksimum gerilme değerleri her bir yerleşim birimi için ayrı ayrı yapısal analizler sonucu elde edilmiştir. Çalışma, tasarım spektrumun farklılaşmasının yapısal analizleri önemli ölçüde etkilediğini ortaya koymuştur. Bir önceki yönetmelikte bölgesel bazda aynı değerler alan yerleşim birimleri için güncel yönetmelikte tamamen farklı sonuçlar elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Şanlıurfa, Ulu Camii Minaresi, Tasarım Spektrumu, Deprem Parametreleri

THE EFFECT OF DESIGN SPECTRA GIVEN IN TBEC-2018 ON SEISMIC BEHAVIOR OF MONUMENTAL MASONRY STRUCTURE

ABSTRACT

Within the scope of this study, the effects of design spectra, which were started to be used with the Turkish Building Earthquake Code updated in 2018, for a masonry minaret were tried to be revealed. The effect of the design spectra, which are located in the same seismic zone but used specifically for each settlement, on the seismic behavior of minarets has been investigated. Seismic parameters, horizontal and vertical spectra were also compared for seven different locations considered in this study. Base shear forces, displacement, period, and maximum stress values of the sample masonry minaret were obtained as a result of structural analyzes for each settlement, respectively. The study revealed that the differentiation in the design spectrum significantly affects the structural analysis. In addition, completely different results were obtained in the current regulation for the settlements that had the same values on a regional basis in the previous regulation.

Keywords: Şanlıurfa, Ulu Camii minaret, design spectra, seismic parameters

1. Giriş

Anıtsal yığma yapılar, insanlığın varoluşundan itibaren insanların ibadet ihtiyaçlarını karşılamak üzere inşa edilmişlerdir. Bu tür yapılar genellikle herhangi bir mühendislik hizmeti almadan bölgesel malzeme ve işçilik kullanılarak dizayn edilmiş ve birçoğu, farklı doğal afetlere karşı direnerek günümüze kadar ulaşmışlardır. Aynı zamanda, bu tür yapılar toplumların mühendislik birikimleri, sanat

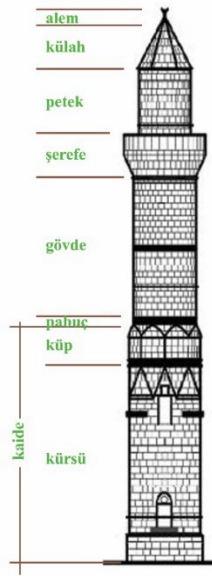
* 1e-posta: favcil@beu.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6550-550X> (Sorumlu Yazar)

²e-posta: cisik@beu.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8057-065X>

³e-posta: hbilgin@epoka.edu.al ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5261-3939>

⁴e-posta: baytan.ozmen@usak.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6750-8632>

anlayışları ve ekonomik durumlarının da bir göstergesidir [1-3]. Bu tür yığma yapıların içinde farklı inançların sembelleri olan ibadet yapıları ayrı bir öneme sahiptir. İnançlara göre, farklı şekillerde inşa edilen ibadet yapıları ile ilgili farklı disiplinler veya disiplinler arası günümüzde çok sayıda çalışma yapılmış ve yapılmaya devam etmektedir. Bu yapılar, geçmiş ile geleceği kuvvetle bağlayan paha biçilemez kültür varlıklarıdır [4]. Dünyanın değişik bölgelerinde yer alan ve kültürel mirasın bir parçası olan tarihsel yapılar ile ilgili çalışma ve araştırmalar gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır [5-7]. Bu bağlamda; San Marco Kilisesi [8], Romanesque Kilisesi [9], Sherith Israel [10], Ben Ezra Sinagogu [11], Oni Sinagogu [12], Apollo Tapınağı [13], Evora Roma Tapınağı [14], Bigali Kale Camisi [15], Kermanşah tarihi camileri [16] ve Gazi Hasan Paşa Camisi [17] ile ilgili yapılan çalışmalar yığma tarzda inşa edilen ibadethanelerin deprem davranışlarının belirlenmesi ile ilgili yapılan bazı çalışmalardır. İslam inancında önemli bir yere sahip olan minareler, genel olarak ezan okunan kule şeklinde inşa edilen yüksek ve ince yapılardır. Yığma, beton, betonarme ve çelik gibi farklı tür malzemeler kullanılarak inşa edilebilmektedir. Minareler, kürsü, pabuç gövde, şerefe, petek, külah ve alemden oluşmaktadır. Bu kısımlar Şekil 1’de örnek bir minare üstünde olarak gösterilmiştir.



Şekil 1. Minarede bulunan kısımlar [18, 19]

Minareler ile ilgili farklı çalışmaların yapılması tarihi ve kültürel mirasın gelecek nesillere aktarılması adına önem arz etmektedir. Yığma tarzda inşa edilmiş ve günümüze kadar sağlam bir şekilde ayakta kalmış bu yapıların deprem davranışı etkisi altındaki davranışları akademinin ilgisini çekmiştir. Dört Ayaklı Minare [20], Kadı Mahmut Cami Minaresi [21], Yivli minare [22], Antalya yığma minareleri [23], Kırklareli Hızırbey camii minaresi [24], Edirnekapı Mimrimah Sultan Cami minaresi [25], Aksaray ilçesinde yer alan yedi farklı minare [26], Bursa Ulu Camii minaresi [27], Sundura Camisinin minaresi [28], Ayasofya Camisinin minareleri [29] ve Yeşil Minare [30] gibi çalışmalar, minareler ile ilgili yapılan bazı çalışmalardır. Bu çalışmalarda farklı sismik analiz yöntemleri kullanılarak minarelerin sismik davranışları ortaya konmaya çalışılmıştır. Bu çalışmaların birçoğunda deprem etkisi altında yapısal analizler gerçekleştirilirken tasarım spektrumları kullanılmıştır. Tasarım spektrumları farklı ülkelerde farklı şekillerde olabilmekte ve zaman içerisinde teknoloji ve diğer gelişmelerden dolayı değişebilmektedir. Bu bağlamda, Türkiye’de de 2018 yılında hem deprem yönetmeliği hem de deprem tehlike haritaları güncellenmiştir. Türkiye’de farklı tarihlerde on farklı deprem yönetmeliği ve yedi farklı deprem bölgeleri haritası kullanılmıştır.

Deprem ve inşaat mühendisliği alanındaki bilimsel ve teknolojik gelişmeler, depreme dayanıklı yapı tasarım kurallarında zaman içerisinde yenilenme, ekleme ve güncelleme ihtiyacını kaçınılmaz kılmaktadır [31-33]. Türkiye’de de on farklı tarihte bu işlemler gerçekleştirilmiş ve 2018 yılında Türkiye

Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) [34] adını almıştır. Yeni yönetmelikteki önemli değişimlerden biri bölgesel bazda deprem parametreleri hesabı yerine her bir coğrafi konuma özel hesaplamasının kullanılması olmuştur [35,36]. Bu bağlamda bir önceki yönetmelikte aynı deprem bölgesi içerisinde yer alan tüm yerleşim birimlerinde tek bir spektrum eğrisi kullanılmakta idi. Ancak güncel yönetmelik ile her bir coğrafi konuma özgü tasarım spektrumları kullanılmaya başlanmıştır. Bu açıdan yapıların tasarım ve değerlendirilmesi de bir anlamda coğrafi konuma bağlı olarak değişkenlik gösterecektir. Özellikle güncel deprem yönetmeliğinde bu ve benzeri değişimler deprem bölgeleme haritasında da değişimi zorunlu kılmıştır. Türkiye’de yedi farklı tarihte deprem haritası yenilenmiş olup son harita 2018 yılında Türkiye Deprem Tehlike haritası olarak yürürlüğe girmiştir. Son harita dışındaki tüm haritalar bölgesel risk tabanlı hazırlanmıştır. Gelişen bilgi altyapısı, teknoloji ve hesaplama yöntemleri, güncellenen deprem katalogları, daha güvenilir sismolojik verilerin elde edilmesi, coğrafi konuma özgü tasarım spektrumlarının kullanılmaya başlanması ve 2012 yılında Türkiye Diri fay haritasının yenilenmesi, bu haritanın son halini almasına gerekçe olmuştur. Bu harita ile deprem bölgesi kavramı ortadan kaldırılmış coğrafi konuma özgü deprem tehlikesi kullanılmaya başlanmıştır [37-41]. Bu çalışma kapsamında dikkate alınan yığma minare için yapısal analizler gerçekleştirilirken Türkiye’de yer alan yedi farklı coğrafi bölgede yer alan ve bir önceki deprem bölgeleri haritasında aynı deprem bölgesinde yer alan yedi farklı yerleşim birimi dikkate alınmıştır.

2. Materyal ve Metod

2.1. İncelenen Yığma Minare

Minareler genel olarak camilere bitişik ve yakın bir bölgede ayrı olarak inşa edilen, namaz zamanının geldiğini duyurmak için ezan okunan kule şeklinde yüksek ve ince yapılardır. Tarihi süreçte yığma yapı olarak taş vd. malzemelerden inşa edilirken günümüzde beton, betonarme ve çelik gibi farklı malzemeler kullanarak da inşa edilmektedirler. Bu çalışma kapsamında Şanlıurfa ilinde yer alan ve yığma tarzda inşa edilen Ulu Camii Minaresi örnek olarak seçilmiştir. Minarenin ait olduğu Ulu Camii’nin 1170-1175 yıllarında Zengiler tarafından yaptırıldığı tahmin edilmektedir. Yapı ilin en eski camilerinden olup, değişik yıllarda onarım görmüştür [42,43]. Daha önceleri sinagog ve kilise olarak kullanılmış olup günümüzde cami olarak kullanılmaktadır. Minareye çevrilen çan kulesi, caminin kuzeydoğu cephesinde, bahçe içerisinde olup, sekizgen iri gövdeli bir forma sahiptir. Minare yöresel olarak elde edilen Urfa kesme taşı kullanılarak inşa edilmiştir [44,45]. Minareye bir saat eklenerek saat kulesine dönüştürülmüş olup ilin ilk ve tek saat kulesi görevini de görmektedir [43,45]. Bu minareye ait görseller Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Şanlıurfa Ulu Camii Minaresine ait görseller [42, 46, 47]

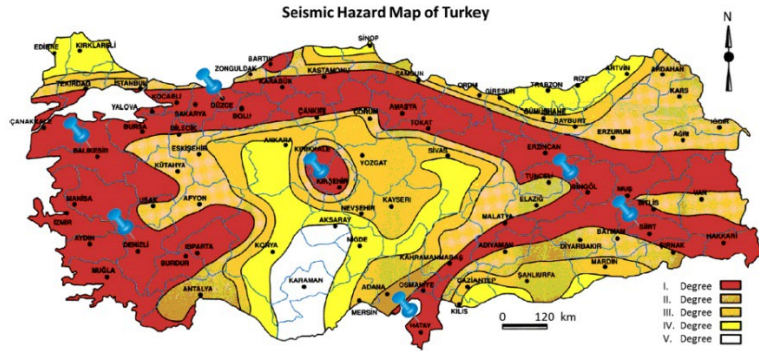
İncelenen minare için malzeme özellikleri belirlenirken Pekgökgöz vd., (2018) [42], tarafından yapılan çalışmadan faydalanılmıştır. Bu çalışma ile kullanılan taşın özellikleri ultrasonik test cihazı ile belirlenmiştir. Bu taşta ait Elastisite modülü (E) ve birim hacim ağırlık (γ) değerleri tüm yapılarda tek bir değer olarak alınmıştır. Kullanılan malzemeye ait özellikler Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Malzeme özellikleri [42]

| Minare | Birim hacim ağırlık (kN/m^3) | Elastisite Modülü (MPa) | Poisson oranı |
|---------------------|--|----------------------------|---------------|
| Şanlıurfa Ulu Camii | 17.6 | 11144 | 0.3 |

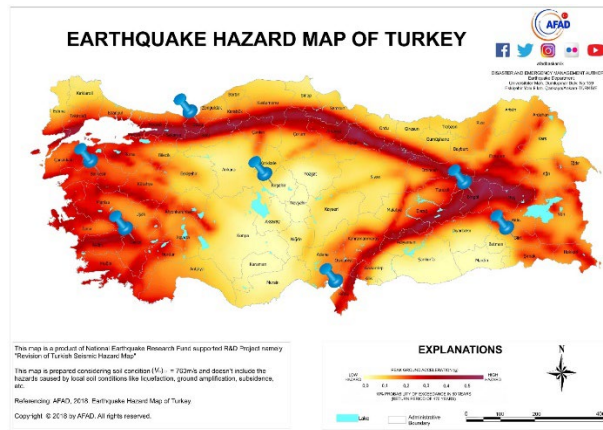
2.2. Seçilen Yerleşim Birimleri için Deprem Parametreleri

Çalışma kapsamında tasarım spektrumlarının yığma minarelerin sismik davranışına etkisini ortaya koymak adına; Türkiye’de yer alan yedi farklı coğrafik bölgeden bir önceki deprem bölgesi haritasında aynı deprem bölgesinde yer alan Balıkesir (Marmara Bölgesi), Bingöl (Doğu Anadolu Bölgesi), Denizli (Ege Bölgesi), Siirt (Güneydoğu Anadolu Bölgesi), Düzce (Karadeniz Bölgesi), Kırşehir (İç Anadolu Bölgesi) ve Hatay (Akdeniz Bölgesi) il merkezlerinden rastgele birer coğrafik konum seçilmiştir. Seçilen konumların bir önceki deprem bölgeleri haritasında gösterimi Şekil 3’te gösterilmiştir.



Şekil 3. Seçilen yerleşim birimleri [48]

Harita üzerinde görüleceği üzere seçilen tüm yerleşim birimleri 1. derece deprem bölgesinde yer almaktadır. Güncel deprem tehlike haritası üzerinde gösterim ise Şekil 4’te yapılmıştır.



Şekil 4. Seçilen yerleşim birimlerinin güncel deprem tehlike haritası üzerinde gösterimi [49]

Herhangi bir coğrafi konuma ait deprem parametreleri güncel deprem yönetmeliği ile geliştirilen Türkiye Deprem Tehlike Haritası İnteraktif Web Uygulaması ile elde edilebilmektedir [34, 49]. Bu uygulama kullanılarak parametre değerleri farklı yer hareket düzeylerine göre hesaplanmıştır. Dört farklı deprem yer hareket düzeyi ve yerel zemin sınıfı da olarak TBDY-2018'de belirtilen ZC zemin sınıfı dikkate alınmıştır. Bu çalışma kapsamında seçilen her bir coğrafik konum için kısa periyot harita spektral ivme katsayısı, en büyük yer ivmesi, en büyük yer hızı, yerel zemin etki katsayıları, tasarım spektral ivme katsayıları ile yatay ve düşey elastik spektrum eğrisi için hesaplamalar yapılmıştır. Çalışmanın bu kısmında dikkate alınan yer hareket düzeyleri Çizelge 2'de gösterilmiştir.

Çizelge 2. Deprem yer hareket düzeyleri [34]

| Deprem Düzeyi | Tekrarlanma periyodu (Yıl) | 50 yılda aşılma olasılığı | Tanım |
|---------------|----------------------------|---------------------------|-------------------------------------|
| DD-1 | 2475 | 2% | En büyük yer hareket düzeyi |
| DD-2 | 475 | 10% | Standart tasarım yer hareket düzeyi |
| DD-3 | 72 | 50% | Sık yer hareket düzeyi |
| DD-4 | 43 | 68% | Servis yer hareket düzeyi |

Seçilen yerleşimler için farklı aşılma olasılıkları için elde edilen en yüksek yer ivmesi (PGA) ve en yüksek yer hızı (PGV) değerleri Çizelge 3'te gösterilmiştir.

Çizelge 3. Farklı yer hareket düzeyleri için PGA ve PGV değerleri

| İl | Pik Yer İvmesi (g)-PGA | | | | Pik Yer Hızı (cm/s)-PGV | | | |
|-----------|---------------------------|-------|-------|-------|---------------------------|--------|--------|-------|
| | 50 yılda aşılma olasılığı | | | | 50 yılda aşılma olasılığı | | | |
| | 2% | 10% | 50% | 68% | 2% | 10% | 50% | 68% |
| Balıkesir | 0.719 | 0.372 | 0.140 | 0.100 | 43.665 | 21.597 | 8.240 | 6.046 |
| Bingöl | 1.137 | 0.654 | 0.274 | 0.179 | 77.063 | 43.265 | 15.616 | 9.618 |
| Denizli | 0.852 | 0.471 | 0.191 | 0.140 | 50.296 | 26.864 | 10.125 | 7.336 |
| Siirt | 0.460 | 0.247 | 0.094 | 0.065 | 24.368 | 12.973 | 5.483 | 4.026 |
| Düzce | 0.944 | 0.562 | 0.202 | 0.117 | 62.548 | 36.647 | 12.571 | 6.732 |
| Kırşehir | 0.185 | 0.087 | 0.031 | 0.022 | 11.049 | 5.740 | 2.282 | 1.676 |
| Hatay | 0.868 | 0.444 | 0.147 | 0.099 | 55.517 | 27.491 | 8.318 | 5.584 |

Seçilen yerleşimlerin farklı deprem yer hareketi seviyeleri için kısa periyotlu harita spektral ivme katsayısı (S_s) ile 1.0s periyodu için harita spektral ivme katsayısının (S_1) TEHMIWA kullanılarak karşılaştırılması Çizelge 4'te gösterilmiştir.

Çizelge 4. Çalışmada dikkate alınan yerleşim birimleri için S_s ve S_1 değerleri

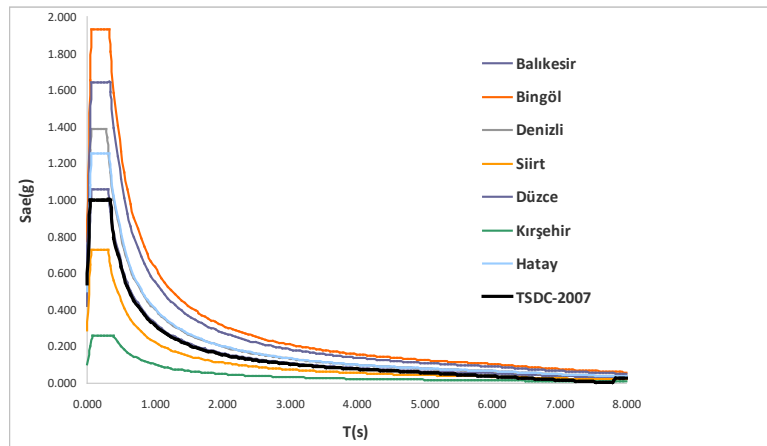
| İl | S_s | | | | S_1 | | | |
|-----------|---------------------------|-------|-------|-------|---------------------------|-------|-------|-------|
| | 50 yılda aşılma olasılığı | | | | 50 yılda aşılma olasılığı | | | |
| | 2% | 10% | 50% | 68% | 2% | 10% | 50% | 68% |
| Balıkesir | 1.740 | 0.880 | 0.323 | 0.229 | 0.440 | 0.219 | 0.088 | 0.065 |
| Bingöl | 2.876 | 1.608 | 0.642 | 0.423 | 0.804 | 0.422 | 0.155 | 0.095 |
| Denizli | 2.160 | 1.154 | 0.446 | 0.322 | 0.524 | 0.268 | 0.102 | 0.075 |
| Siirt | 1.113 | 0.573 | 0.215 | 0.151 | 0.274 | 0.150 | 0.063 | 0.046 |
| Düzce | 2.410 | 1.369 | 0.471 | 0.267 | 0.656 | 0.371 | 0.125 | 0.068 |
| Kırşehir | 0.433 | 0.200 | 0.070 | 0.050 | 0.131 | 0.068 | 0.027 | 0.019 |
| Hatay | 2.119 | 1.046 | 0.332 | 0.224 | 0.577 | 0.273 | 0.084 | 0.057 |

DBYYBHY-2007 [50] ve TBDY-2018'e [34] göre 50 yılda %10 aşılma olasılığı bulunan tasarım depreminin (DD-2) spektral ivme katsayıları ve zemin rezonans periyotları Çizelge 5'te gösterilmiştir. Son iki kod için karşılaştırma yapmak için her iki yönetmelikte yer alan yer hareketi seviyesi seçilmiştir.

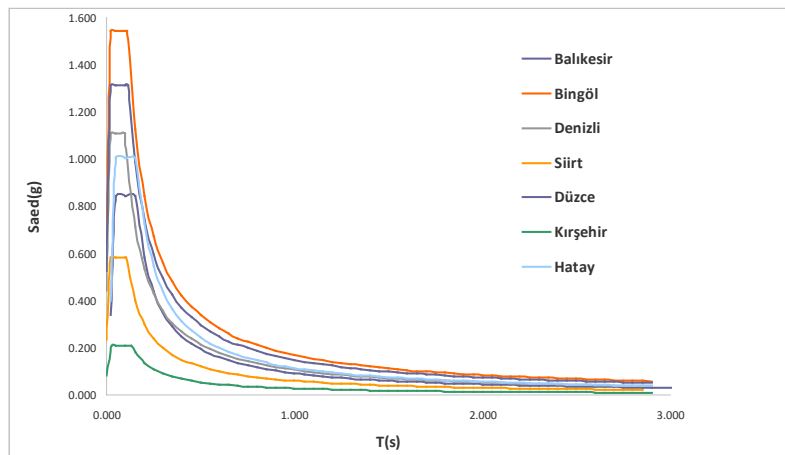
Çizelge 5. Tasarım spektral ivme katsayılarının karşılaştırılması

| DD-2 | Spectral Acceleration Coefficients | | | | Yatay | | | | Düşey | | | |
|-----------|------------------------------------|--------------|-----------|--------------|-------------|-------|-----------|-------|-------------------------|----------|-----------|----------|
| | Tüm zeminler | | | | ZC | | | | | | | |
| İl | DBYBHY-2007 | | TBDY-2018 | | DBYBHY-2007 | | TBDY-2018 | | DBYBHY-2007 | | TBDY-2018 | |
| | S_{DS} | $0.40S_{DS}$ | S_{DS} | $0.40S_{DS}$ | T_A | T_B | T_A | T_B | T_{AD} | T_{BD} | T_{AD} | T_{BD} |
| Balıkesir | 1 | 0.4 | 1.056 | 0.422 | 0.15 | 0.60 | 0.062 | 0.311 | Bu yönetmelikte yoktur. | | 0.021 | 0.104 |
| Bingöl | 1 | 0.4 | 1.930 | 0.772 | 0.15 | 0.60 | 0.066 | 0.328 | | 0.022 | 0.109 | |
| Denizli | 1 | 0.4 | 1.385 | 0.554 | 0.15 | 0.60 | 0.058 | 0.290 | | 0.019 | 0.097 | |
| Siirt | 1 | 0.4 | 0.728 | 0.291 | 0.15 | 0.60 | 0.062 | 0.309 | | 0.021 | 0.103 | |
| Düzce | 1 | 0.4 | 1.643 | 0.657 | 0.15 | 0.60 | 0.068 | 0.339 | | 0.023 | 0.131 | |
| Kırşehir | 1 | 0.4 | 0.260 | 0.104 | 0.15 | 0.60 | 0.078 | 0.392 | | 0.026 | 0.131 | |
| Hatay | 1 | 0.4 | 1.255 | 0.502 | 0.15 | 0.60 | 0.065 | 0.326 | | 0.022 | 0.109 | |

Seçilen yerleşimler için ZC zemin sınıfı dikkate alınarak elde edilen yatay ve düşey tasarım spektrumlarının karşılaştırması sırasıyla Şekil 5 ve 6'da ayrı ayrı verilmiştir.



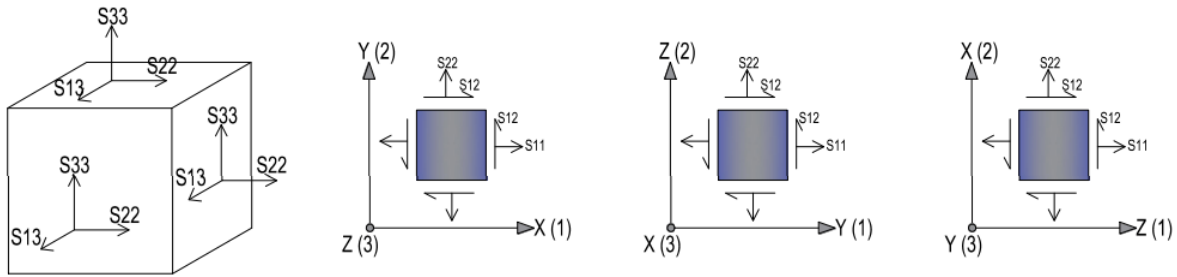
Şekil 5. Yerleşim birimleri için yatay elastik tasarım spektrumlarının karşılaştırılması



Şekil 6. Yerleşim birimleri için düşey elastik tasarım spektrumlarının karşılaştırılması

2.3. Yapısal Analiz Sonuçları

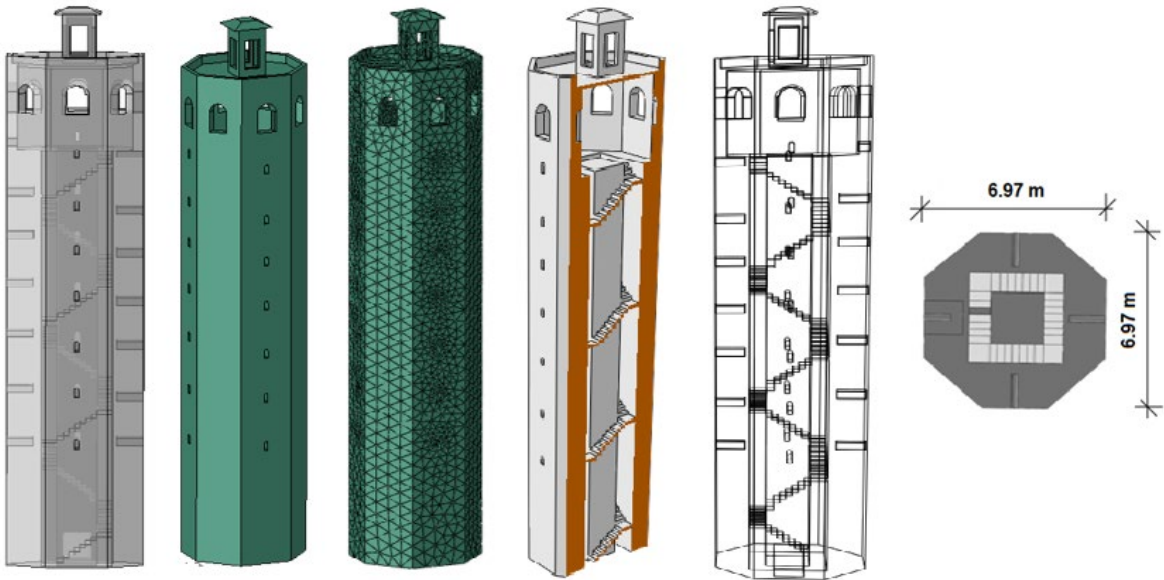
Günümüzün modern mühendislik yapılarının hesap ve tasarımı için sonuçların entegre bir şekilde uygulama projelerine aktarılmasını sağlayan, veri aktarımını kolaylaştıran, bir çok bilgisayar programı geliştirilmiştir. Yığma tarzda inşa edilmiş yapıların taşıyıcı sistemleri günümüzün modern mühendislik yapılarından farklılık göstermektedir. Bu nedenden dolayı bu tür yapıların yapısal analizlerinde sonlu elemanlar yöntemi tercih edilmektedir. Bu yöntemde ilk aşama, incelenecek yapının sayısal modelinin oluşturulmasıdır. Sayısal modelleme, farklı malzemelerden üretilmiş ve değişken kesit geometrisine sahip taşıyıcı sistem elemanlarının mekaniğin temel kurallarına göre doğru ve uyumlu bir şekilde matematiksel terimlere dönüştürülmesi olarak tanımlanabilir. Yığma yapılarda sonlu eleman ile sayısal modelleme oldukça çok hesaplamalı bir işlemi gerektirmektedir [51, 52]. Sonlu elemanlar kullanılarak oluşturulan yapısal modellerde kullanılan elemanların işaret uyumları ve yön kabulleri, sayısal modellemenin yapıldığı yazılımın [53] öngördüğü kabullere bağlı olarak Şekil 7’de gösterilmiştir.



Şekil 7. İşaret uyumu ve yön kabulleri

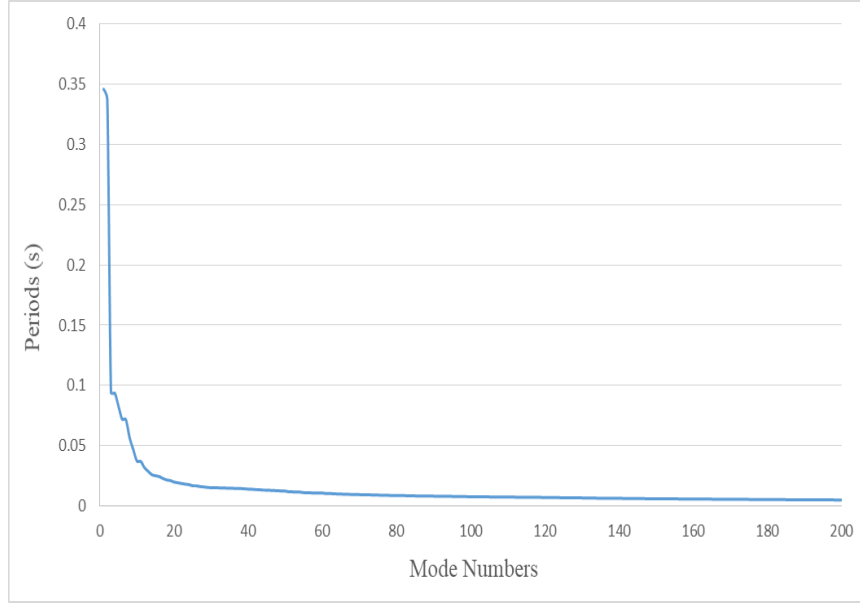
Şekil 6’da belirtildiği üzere; S11: (x) yönünde düşey gerilme, S22: (y) yönünde düşey gerilme, S33: (z) yönünde düşey gerilme, (S12 = S21): x-y düzleminde kayma gerilme ifade etmektedir.

Çalışmada dikkate alınan Şanlıurfa Ulu Camii minaresinin yapısal analize esas olan boyutlandırılması ve yazılım programında elde edilen sonlu eleman modeline ait görseller Şekil 8’de gösterilmiştir.



Şekil 8. İncelenen minareye ait boyutlar, oluşturulan minare modeli ve kesiti

ABAQUS programı [53] ile modelleme yapılırken merdivenler dikkate alınmış ve ağ sisteminde ve birleşim bölgelerinde oluşacak muhtemel problemlerden kaçınmak için dış duvar ile birlikte çizimi yapılmıştır. Yapı modelinde ağ tipi olarak quadratic tetrahedral elements (C3D10) seçilmiştir. Yığma minare toplamda 32436 elemandan (number of elements) 53120 düğüm noktasından (number of nodes) oluşmuştur. Minareye ait doğal titreşim periyodları özdeğer analiz sonucu eklenmiştir. Farklı modlarda elde edilen doğal titreşim periyod grafiksel olarak Şekil 9’da gösterilmiştir.



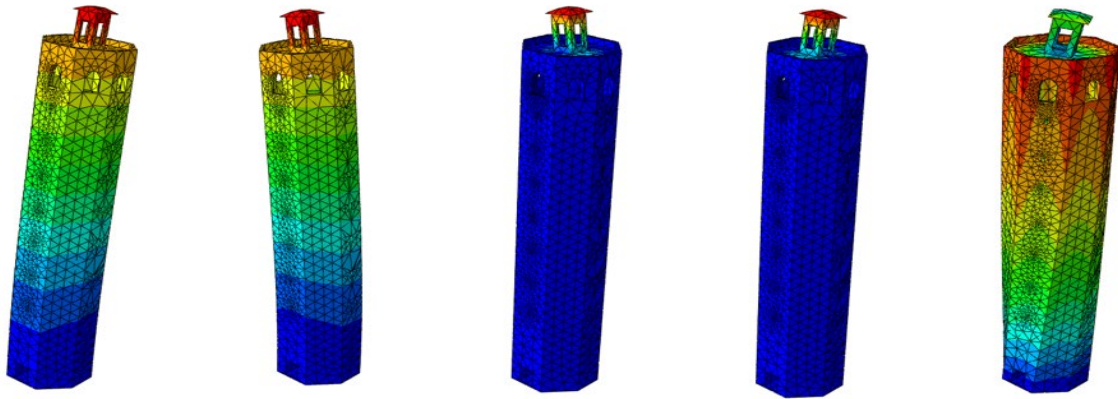
Şekil 9. Minare için farklı modlar için doğal titreşim periyotları

İncelenen minareye ait ilk on mod için elde edilen periyot ve frekans değerleri Tablo 5’te gösterilmiştir.

Çizelge 5. Minare modeli için elde edilen frekans ve periyotlar

| Mode Number | Frequency (Hz) | Period (s) |
|-------------|----------------|------------|
| 1 | 2.89121 | 0.345876 |
| 2 | 2.96421 | 0.337358 |
| 3 | 10.5911 | 0.094419 |
| 4 | 10.6529 | 0.093871 |
| 5 | 12.0341 | 0.083097 |
| 6 | 13.8602 | 0.072149 |
| 7 | 13.92 | 0.071839 |
| 8 | 17.5468 | 0.056990 |
| 9 | 21.3232 | 0.046897 |
| 10 | 26.7491 | 0.037384 |

Ulu Cami minaresinin yazılım programında analiz gerçekleştirilirken elde edilen mod şekilleri de Şekil 10’da gösterilmiştir. Burulmanın gerçekleştiği ilk 5 mod dikkate alınmıştır.



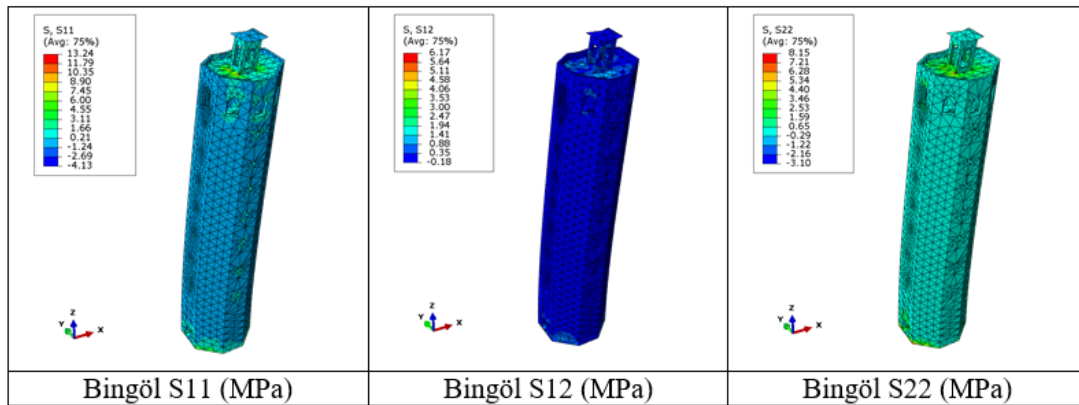
Şekil 10. Minarenin mod şekilleri

Yapısal analizlerdeki gerilme hesaplamaları için hareketli yük, sabit yük ve deprem yükleri dikkate alınmıştır. Sabit yük hesaplamaları malzeme özelliklerine göre kullanılan yazılım programı tarafından yapılmıştır. Her bir lokasyon için İnteraktif Web Deprem Uygulaması üzerinden elde edilen tasarım spektrumları kullanılarak yapısal analizler gerçekleştirilmiştir. Abaqus tepki spektrumu analizi, minarenin belirli bir taban hareketine karşı tepe tepkisini (yer değiştirme, gerilme ve taban kesme kuvveti) tahmin etmek için kullanılır. Farklı yerleşim birimleri için elde edilen sonuç değerleri karşılaştırılması Çizelge 6’da gösterilmiştir.

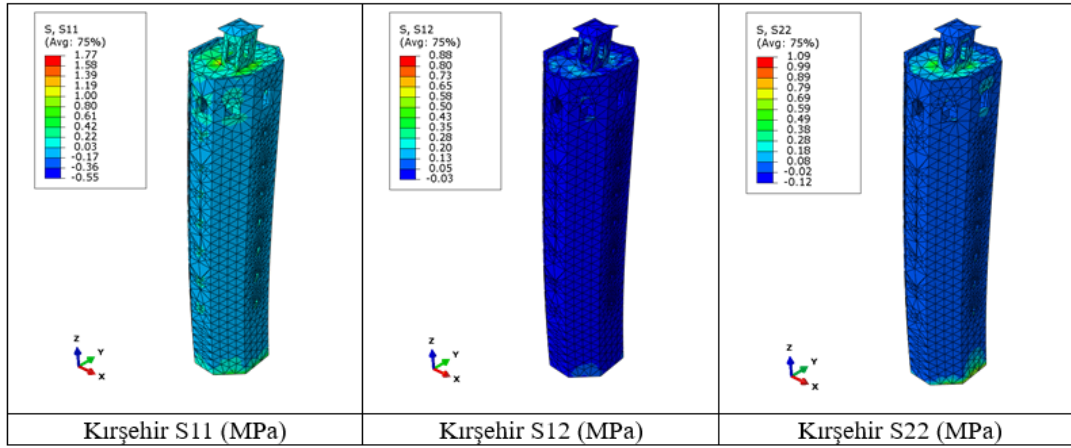
Çizelge 6. Farklı yerleşim birimleri için elde edilen sonuç değerlerinin karşılaştırılması

| İl | Yerdeğiştirme (mm) | Taban kesme kuvveti (N) | S11 (N/mm ²) | S12 (N/mm ²) | S22 (N/mm ²) |
|-----------|--------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Bingöl | 114.56 | 2.25x10 ⁷ | 13.24 | 6.17 | 8.15 |
| Balıkesir | 59.84 | 1.18x10 ⁷ | 7.18 | 3.23 | 4.43 |
| Denizli | 73.35 | 1.45x10 ⁷ | 9.32 | 3.97 | 5.75 |
| Siirt | 40.99 | 8.08x10 ⁶ | 4.95 | 2.21 | 3.05 |
| Düzce | 101.16 | 1.98x10 ⁷ | 11.35 | 5.44 | 6.75 |
| Kırşehir | 16.34 | 3.19x10 ⁶ | 1.77 | 0.88 | 1.09 |
| Hatay | 74.49 | 1.46x10 ⁷ | 8.61 | 4.01 | 5.30 |
| TSDC-2007 | 62.85 | 1.23x10 ⁷ | 6.94 | 3.38 | 4.20 |

En büyük PGA değerine sahip Bingöl ili için oluşan gerilmeler Şekil 11’de, en düşük PGA değerine sahip Kırşehir için Ulu Cami minaresinde meydana gelen gerilmeler ise Şekil 12’de gösterilmiştir.



Şekil 11. Bingöl ili için oluşan gerilmeler



Şekil 12. Kırşehir ili için oluşan gerilmeler

Çalışmaya esas olan minarenin yapısal özellikleri değişmediğinden dikkate alınan tüm iller için doğal titreşim periyodu ve frekans değerleri aynı değerleri almıştır. En büyük çekme gerilme değerleri minarenin Bingöl ilinde olması durumu için elde edilirken en düşük değerler Kırşehir için elde edilmiştir. PGA değeri yüksek, tasarım spektrum genliğinin büyük olması oluşan gerilmeleri de doğrudan etkilemiştir. Bu durum basınç ve kayma gerilmeleri için geçerli olmuştur. Aynı şekilde yerdeğiştirme değerleri en yüksek değerini Bingöl, en düşük değerini ise Kırşehir ili için almıştır. Elde edilen tüm değerler Türkiye’de doğal taşlar için yürürlükte olan ve doğal taşlar - Ham bloklar – özelliklerin yer aldığı TS EN 1467’yer alan minimum basınç, çekme ve kayma gerilme değerlerinden oldukça küçük çıkmıştır. Buna göre minimum güvenli basınç gerilmesi 35MPa’dır [54, 55]. Dolayısı ile minarelerin tamamında oluşan değerler bu değer altında elde edilmiştir. Ayrıca püskürük taşlar için eğilmede en düşük çekme dayanımı 8 MPa kullanılabilir. Doğal yapı taşlarının ortalama fiziksel özellikleri dikkate alınarak kayma gerilme dayanımı 17.50MPa olarak seçilebilir [55]. Analiz sonuçlarından bulunan maksimum çekme, basınç ve kayma gerilmelerinin yapı tarafından emniyetli bir şekilde karşılandığını göstermektedir. Bu sonuç da, yapının süreç içerisinde ayakta kalması ile uyum içerisindedir.

3. Sonuçlar

Bu çalışmada, dünyanın bilinen en eski kültür yapılar topluluğunun yer aldığı Göbeklitepe’nin yer aldığı Şanlıurfa ilinin en eski camilerinden biri olan Ulu Cami minaresi farklı yerleşim birimleri için sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapısal analizler gerçekleştirilmiştir. Bu minarelerin zaman içerisinde birçok olumsuz etkiye maruz kalması, bu minarelerdeki yapı teknolojileri ve deprem davranışlarını daha önemli bir hale getirmektedir. Çalışma kapsamında Türkiye’de kullanılan son iki deprem yönetmeliğinde öngörülen tasarım spektrumların kullanılması durumunda bu minarenin sismik davranışı makro modelleme tekniği kullanılarak belirlenmeye çalışılmıştır. Her bir yerleşim birimi için taban kesme kuvveti, yerdeğiştirme, çekme, basınç ve kayma gerilmelerinin yanı sıra tüm yerleşim birimleri için deprem parametreleri elde edilmiştir. Ayrıca yatay ve düşey elastik tasarım spektrumları elde edilerek tüm sonuçlar karşılaştırılmıştır. Farklı yükleme durumları içinde benzer sonuçlar elde edileceğinden, çalışmada tek bir yükleme durumu dikkate alınmıştır. Genel olarak maksimum gerilme değerleri minarenin geçiş bölgelerinde oluşmuştur. Oluşan bu gerilme değerlerinin minare tarafından karşılanabileceği belirlenmiştir. Bu da minarelerin inşa edildiği dönemdeki mühendislik bilgi ve birikimlerini bir kez daha ortaya koymuştur. Anıtsal yapılar ile ilgili kurum/kuruluşlar yapısal bağlamda, bu tür yapıları takip ederek gerekli mühendislik müdahalelerinin zamanında yapılmasını sağlamalıdır. Bu açıdan günümüze kadar ilgili kamu kurum ve kuruluşları gerekli iş ve işlemleri

yapılarak bu minarenin özgünlüğü korumuştur. Bu tür iş ve işlemlerin süreklilik arz etmesi minarelerin sonraki nesillere aktarılabilmesi adına çok önem arz etmektedir.

Bir önceki deprem bölgeleri haritasında aynı deprem bölgesinde yer alan yedi farklı konum için elde edilen deprem parametreleri, tasarım spektrumları ve yapısal analiz sonucu elde edilen tüm değerler, güncel yönetmelik için farklı değerler almıştır. Güncel deprem yönetmeliği için Bingöl, Denizli, Düzce ve Hatay illeri için elde edilen yapısal sonuçlar bir önceki yönetmeliğe göre daha yüksek değerler alırken, Balıkesir, Siirt ve Kırşehir için daha düşük değerler almıştır. Bu da coğrafik konuma özgü tasarım spektrumlarının önemini açıkça ortaya koymaktadır. En yüksek değerler Bingöl için elde edilirken en düşük değerler Kırşehir ili için elde edilmiştir. Tasarım spektrumlarının genliğinin ve PGA değerinin değişimi elde yapısal sonuçları da bunlar bağlı olarak önemli ölçüde değiştirmiştir.

Bundan sonraki çalışmalarda minare için birleşim malzeme özelliklerinin de belirlenmesi ile mikro modelleme kullanılarak yapısal analizler gerçekleştirilebilir. Ayrıca zaman tanım alanında analizler kullanılarak sismik davranışlarının belirlenmesi de katkı sağlayacaktır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir kurum, kuruluş, kişi ile kişisel ve finansal çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedirler.

Kaynaklar

- [1] Bilgin, H. (2015). Typological classification of churches constructed during post-Byzantine period in Albania. *Gazi University Journal of Science Part B: Art Humanities Design and Planning* 2015; 3:1-15.
- [2] Hadzima-Nyarko, M., Ademovic, N., Pavic, G., Sipos, T.K. Strengthening techniques for masonry structures of cultural heritage according to recent Croatian provisions. *Earthquakes and Structures* 2018; 15: 473-485.
- [3] Isik, E., Antep, B., Buyuksarac, A., & Isik, M. F. (2019). Observation of behavior of the Ahlat Gravestones (Turkey) at seismic risk and their recognition by QR code. *Structural Engineering and Mechanics* 2019; 72; 643-652.
- [4] Bilgin, H., Ramadani, F. (2021). Numerical study to assess the structural behavior of the Bajrakli Mosque (Western Kosovo). *Advances in Civil Engineering* 2021; 4620916: 1-17.
- [5] Cosgun, T., Sayin, B., Gunes, B., Osman Avşar, A., Şengün, R., Gümüşdağ, G. (2020). Rehabilitation of historical ruined castles based on field study and laboratory analyses: The case of Bigalı Castle in Turkey. *Revista de la construcción* 2020; 19; 52-67.
- [6] Özbay, A.Ö., Karapinar, I.S. Tarihi bölgelerdeki yığma yapıların deprem güvenliği ön değerlendirmesi. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi* 2021; 11; 1-11.
- [7] Pavić, G., Hadzima-Nyarko, M., Plaščak, I., Pavić, S. Seismic vulnerability assessment of historical unreinforced masonry buildings in Osijek using capacity spectrum method. *Acta Physica Polonica A* 2019;135: 1138-1141.
- [8] Endo, Y., Pelà, L., Roca, P., Da Porto, F., Modena, C. Comparison of seismic analysis methods applied to a historical church struck by 2009 L'Aquila earthquake. *Bulletin of Earthquake Engineering* 2015; 13: 3749-3778.
- [9] Betti, M., Vignoli, A. Modelling and analysis of a Romanesque church under earthquake loading: Assessment of seismic resistance. *Engineering Structures* 2008; 30: 352-367.
- [10] Paret, T.F., Freeman, S.A., Searer, G. R., Hachem, M., Gilmartin, U. M. Using traditional and innovative approaches in the seismic evaluation and strengthening of a historic unreinforced masonry synagogue. *Engineering Structures* 2008; 30: 2114-2126.
- [11] Hemeda, S. Geotechnical and geophysical investigation techniques in Ben Ezra Synagogue in Old Cairo area, Egypt. *Heritage Science* 2019; 7: 1-15.

- [12] Danieli, M., Aronchik, A. Case study: the strengthening and seismic safety of the Oni synagogue in Georgia. *Structures Under Shock and Impact 2014*; XIII: 141, 455.
- [13] Papastamatiou, D., Psycharis, L. Seismic response of classical monuments-a numerical perspective developed at the Temple of Apollo in Bassae, Greece. *Terra Nova 1993*; 5: 591-601.
- [14] Oliveira, D.V., Greechi, G., McCall, A., Noh, J., Speer, E., Tohidi, M. Seismic analysis of the Roman temple of Evora, Portugal. In: *15th World Conference on Earthquake Engineering. Sociedade Portuguesa de Engenharia Sísmica 2012*; 1-10
- [15] Gunes, B., Cosgun, T., Sayin, B., Ceylan, O., Mangir, A., Gumusdag, G. Seismic assessment of a reconstructed historic masonry structure: A case study on the ruins of Bigali castle mosque built in the early 1800s. *Journal of Building Engineering 2021*; 39: 102240.
- [16] Biglari, M., D'Amato, M., Formisano, A. Rapid seismic vulnerability and risk assessment of Kermanshah historic mosques. *The Open Civil Engineering Journal 2021*; 15: 135-148.
- [17] Karantoni, F.V., Dimakopoulou, D. Displacement-based assessment of the Gazi Hasan Pasha mosque in Kos island (GR) under the 2017 M6. 6 earthquake and Eurocode 8, with proposals for upgrading. *Bulletin of Earthquake Engineering 2021*; 19: 1213-1230.
- [18] Günay, M. Bitlis'te beş minaresinin yapısal analizi, Bitlis Eren Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2021.
- [19] Işık, E., Harirchian, E., Arkan, E., Avcil, F., Günay, M. Structural analysis of five historical minarets in Bitlis (Turkey). *Buildings 2022*; 12:159.
- [20] Uğurlu, M. A., Günaslan, S.E., Karaşin, A. Dört Ayaklı Minare'nin modellenmesi ve yapısal analizi. *DÜMF Mühendislik Dergisi 2017*; 8: 413-422.
- [21] Işık, E., Antep B. Ahlat ilçesinde yer alan tarihi yığma minarenin yapısal analizi. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 2018*; 7: 46-56.
- [22] Çelik, L.F. Yivli minarenin depreme karşı dayanıklılığının araştırılması, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2019.
- [23] Usta, P. Assessment of seismic behavior of historic masonry minarets in Antalya, Turkey. *Case Studies in Construction Materials 2021*; 15: e00665.
- [24] Kiliç, İ., Bozdoğan, K.B., Aydın, S., Gök, S.G., Gündoğan, S. Kule tipi yapıların dinamik davranışının belirlenmesi: Kırklareli Hızırbey camii minaresi. *Politeknik Dergisi 2020*; 23: 19-26.
- [25] Çaktı, E., Saygılı, Ö., Görk, S., Zengin, E., Oliveira, C.S., Lemos, J.V. Edirnekapi Mihrimah Sultan Camii minaresinin deprem davranışı. *Restorasyon Yıllığı Dergisi 2013*; 6: 33-40.
- [26] Ural, A., Çelik, T. Tek şerefeli yığma minarelerin deprem davranışı ve dinamik analizi. *Aksaray University Journal of Science and Engineering 2018*; 2: 13-27.
- [27] Mutlu, Ö., Şahin, A. Investigating the effect of modeling approaches on earthquake behavior of historical masonry minarets-Bursa Grand Mosque case study. *Sigma 2016*; 7: 123-136.
- [28] Bayraktar, A., Çalık, İ., Türker, T., 2013. Restorasyon sonrası tarihi Sundura Camisi ve minaresinin çevresel titreşim testi yöntemiyle dinamik özelliklerinin belirlenmesi. *Restorasyon Yıllığı Dergisi 2013*; 6: 53-62.
- [29] Çarhoğlu, A.I., Usta, P., Korkmaz, K.A. Ayasofya örneğinde tarihi minare yapılarının sismik davranışının incelenmesi. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi 2013*; 5: 36-43.
- [30] Döven, M.S., Serhatoğlu, C., Kaplan, O., Livaoglu, R. Kütahya Yeşil minarenin kapalı ve açık şerefeli dinamik davranışlarının karşılaştırılması. *Eskişehir Teknik Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi B-Teorik Bilimler 2018*; 6: 192-203.
- [31] Işık, E. A comparative study on the structural performance of an RC building based on updated seismic design codes: case of Turkey. *Challenge 2021*; 7: 123-134.
- [32] Aksoylu, C., Mobark, A., Hakan Arslan, M., Hakkı Erkan, İ. A comparative study on ASCE 7-16, TBEC-2018 and TEC-2007 for reinforced concrete buildings. *Revista de la construcción 2020*; 19: 282-305.
- [33] Ozmen, H.B. A view on how to mitigate earthquake damages in Turkey from a civil engineering perspective. *Research on Engineering Structures and Materials 2021*; 7: 1-11.
- [34] Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, 2018.

- [35] Işık, E., Harirchian, E., Bilgin, H., Jadhav, K. The effect of material strength and discontinuity in RC structures according to different site-specific design spectra. *Research on Engineering Structures and Materials* 2021; 7: 413-430.
- [36] Peker, F.Ü., Işık, E. TBDY-2018'deki yerel zemin koşullarının çelik yapı deprem davranışına etkisi üzerine bir çalışma. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* 2021; 10: 1125-1139.
- [37] Akkar, S., Kale, Ö., Yakut, A., Ceken, U. Ground-motion characterization for the probabilistic seismic hazard assessment in Turkey. *Bulletin of Earthquake Engineering* 2018; 16: 3439-3463.
- [38] Akkar, S., Eroğlu, Azak, T., Çan, T., Çeken, U., Demircioğlu, M.B., Duman, T., Zülfikar, Ö. Türkiye Sismik Tehlike Haritasının Güncellenmesi. AFAD, Proje No: UDAP-Ç-13-06, 2014.
- [39] Çeken, U., Dalyan, İ., Kılıç, N., Köksal, T.S., Tekin, B.M. Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması. 4. In *Proceedings of the International Earthquake Engineering and Seismology Conference, 2017, Bucharest, Romania.*
- [40] Karaşin, İ.B., Işık, E., Demirci, A., Aydın, M.C. Coğrafi konuma özel tasarım spektrumlarının betonarme yapı performansına etkisi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi* 2020; 11: 1319-1330.
- [41] Özmen B. Türkiye deprem bölgeleri haritalarının tarihsel gelişimi. *Türkiye Jeoloji Bülteni* 2012; 55: 43-55.
- [42] Pekgökgöz, R.K., İzol, G., Avcil, F., Gürel, M.A. Şanlıurfa Ulu Cami Minaresi yapı taşının elastisite modülünün ultrasonik test cihazı kullanılarak belirlenmesi. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 2018; 3: 35-45.
- [43] Şanlıurfa Valiliği, Şanlıurfa Kültür ve Turizm Rehberi, Şanlıurfa Valiliği İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü Yayınları:5 Şanlıurfa İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü Atatürk Bulvarı No:49 2016, Şanlıurfa
- [44] Elpe, E. Konum olarak camiden ayrı minareler. *Akra Kültür Sanat ve Edebiyat Dergisi* 2021; 9: 191-214.
- [45] Şanlıurfa Valiliği, Kültür ve İnançlar Diyarı Şanlıurfa, Şanlıurfa Valiliği İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü Yayınları Şehir Kitaplığı Dizisi:26, 2018.
- [46] <http://www.sanlıurfa.gov.tr/camiler> (Erişim tarihi:09 Kasım 2021)
- [47] <https://www.kulturportali.gov.tr/turkiye/sanlıurfa/gezilecekyer/ulu-camii-1>(Erişim tarihi:11 Kasım 2021).
- [48] Gunes, O. Turkey's grand challenge: Disaster-proof building inventory within 20 years. *Case Studies in Construction Materials* 2015; 2: 18-34.
- [49] Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması, <https://tdth.afad.gov.tr/>, 2018
- [50] Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Ankara, 2007.
- [51] Giordano, A., Mele, E., De Luca, A. Modelling of historical masonry structures: comparison of different approaches through a case study. *Engineering Structures*, 2002; 24: 1057-1069.
- [52] Akan, A. E., Başok, G. Ç., Er, A., Örmecioglu, H. T., Koçak, S. Z., Cosgun, T., Uzdil, O., Sayin, B. Seismic evaluation of a renovated wooden hypostyle structure: A case study on a mosque designed with the combination of Asian and Byzantine styles in the Seljuk era (14th century AD). *Journal of Building Engineering* 2021; 103112.
- [53] Abaqus, G. Abaqus 6.11. Dassault Systemes Simulia Corporation, Providence, RI, USA.2011.
- [54] TS EN 1467 Doğal Taş-Ham Bloklar-Özellikleri, Türk Standardı, Nisan 2012
- [55] Kuruşcu, A.O. Yığma duvar ve temellerde doğrusal olmayan modelleme. *YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, 2012, İstanbul.

KONİK YÜZEYLİ MALZEMELERİN YAPIŞTIRICI İLE BİRLEŞTİRİLMESİ VE MEKANİK DAVRANIŞLARIN İNCELENMESİ

Ünal KOCA^{*1}, Şemsettin TEMİZ²

¹⁻² İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Malatya, 44280, Türkiye

Geliş Tarihi/Received Date: 07.01.2022 Kabul Tarihi/Accepted Date: 17.03.2022 DOI: 10.54365/adyumbd.1054779

ÖZET

Bu çalışmada, yapıştırma bağlantılarının mukavemeti üzerine normal ve kayma gerilmelerinin etkilerini daha iyi anlamak üzere koniklik açısının değişimi ile ara yüzeyde oluşacak normal ve kayma gerilmelerin değiştiği uç uca konik yapıştırma bağlantı geometrisi incelendi. Alüminyum ve yapı çeliği olmak üzere yapıştırılan iki malzeme farklı açılarda konik yapıştırma yüzeyleri DP810 yapısal yapıştırıcı kullanılarak elde edilen uç uca bağlantının (butt joint) sayısal analizi yapıldı. Analizlerde von Mises akma ve kırılma kriteri kullanılarak bağlantıların aynı yapışma yüzeylerine karşılık farklı açılar için hasar yükleri belirlendi. Ayrıca aynı yüke karşılık bütün yapışma yüzeyleri için gerilme dağılım grafikleri elde edilerek mukayeseleri yapıldı. Konik bağlantı geometrisinde açı ve çap değeri arttıkça bağlantının hasar yükleri artmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yapıştırma Bağlantıları; Hasar Analizi; Akma ve Kırılma Kriteri.

JOINING CONICAL MATERIALS WITH ADHESIVE AND INVESTIGATION OF THE MECHANICAL BEHAVIORS

ABSTRACT

In this study, in order to better understand the effects of normal and shear stresses on the strength of the adhesive joints, the end-to-end conical adhesive joint geometry, in which the normal and shear stresses that will occur at the interface change with the change of the taper angle, was investigated. Conical bonding surfaces of two materials, aluminum and structural steel, at different angles, numerical analysis of the butt joint obtained by using DP810 structural adhesive was performed. In the analysis, failure loads were determined for the same adhesion surfaces of the joints at different angles by using the von Mises yield and fracture criteria. In addition, stress distribution graphs were obtained for all adhesion surfaces against the same load and their comparisons were made. As the angle and diameter of the conical joint geometry increased, the joint damage loads increased.

Keywords: Adhesive Joints; Failure Analysis; Yield Criteria.

1. Giriş

Malzemelerin birleştirilerek farklı özelliklerinden faydalanılması günlük yaşamda ve endüstride uzun yıllardan beri gerçekleşmektedir. Gelişen teknolojiyle birlikte, üretilen yeni nesil ve karmaşık malzemelerin gelişmesi, imalat ve birleştirme tekniklerinin de gelişmesini gerektirmiştir. İmalat sanayinde plastik teknolojisinin gelişmesiyle birlikte, mekanik ve termal birleştirmelerin (cıvata, lehim, kaynak ve perçin vs.) konvansiyonel bağlantı tiplerine ek olarak yapıştırıcıların kullanım miktarı artış göstermektedir. Geçmiş yıllarda, daha az kuvvete maruz kalan ve daha az emniyet gerektiren günlük kullanım malzemelerinin imalatında kullanılan

*1 e-posta: ukoca@outlook.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5095-7324> (Sorumlu Yazar)

² e-posta: semsettin.temiz@inonu.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6737-3720>

yapıştırıcılar, günümüzde daha fazla dayanımın gerektiği ve güvenliğin yüksek önem arz ettiği mühendislik alanlarında da artış gösteren bir şekilde kullanılmaktadır. Bununla birlikte imalat malzemelerinin gelişmesi, çeşitlerinin artması ve birleştirilmesiyle birlikte, birleştirme çeşitleri arasında yapıştırıcılar, ağırlığa minimum etkileri, farklı malzemelerin birleştirilmesi, sızdırmazlık, birlikte çalışan parçaların sürtünmesiyle gerçekleşecek fretting korozyonu ve farklı tür metallerin birleştirilmesiyle oluşacak galvanik korozyonu engellemesi, sönümleyebilme kabiliyeti gibi avantajlar sağladığından tercih edilmektedir[1-8].

Yaygın kullanım alanı bulan yapısal yapıştırıcılar, güvenilirlik, mekanik özelliklerin belirlenmesi ve tekrar zorluğu ile tekniğin kabullenilmesi bakımından engel oluşturmuştur. Bu durum tasarımda istenilen mekanik özelliklerin araştırılması ve tespiti üzerine araştırmaların artmasına sebep olmuştur. Malzeme seçimi, hasar koşullarının belirlenmesi, kalite durumu ve yüklü halde gerilme dağılımı gibi yapıştırma bağlantısının tasarımını etkileyen faktörlerin belirlenmesinde, mekanik özelliklerin doğru biçimde tespiti oldukça önemlidir[9-12].

Bu sebeple yapıştırıcıların ve yapıştırma bağlantılarının geliştirilmesi, araştırılması ve mekanik özelliklerinin tespiti büyük önem kazanmıştır[4].

Temiz ve diğ. tarafından yapılan bir araştırmada, araştırmacılar film türü yapıştırıcı ile gerçekleştirdikleri tek etkili yapıştırma bağlantılarında, malzeme kalınlığı ve bindirme uzunluğu değişiminin bağlantı mukavemetine etkisini deneysel ve nümerik olarak incelemiştir. Yapılan analizler sonucunda bindirme uçlarındaki soyulma gerilmelerinin hasar oluşturmada önemli etkilerinin olduğu sonucuna ulaşmışlardır[13].

Bir diğ. araştırma, Nemes ve Lachaud tarafından yapılmıştır. Araştırmacılar çift bindirmeli yapıştırıcı ile birleştirilmiş bağlantıların, mekanik özelliklerini incelemiştir. Bindirme uzunluğundaki artışın yapıştırıcıda meydana gelen maksimum kayma gerilmesinin şiddetine etkisinin olmadığını, bu uzunluğun ortalarına doğru kayma gerilmesi değerinde azalma meydana geldiği ve kayma gerilmesinin en yüksek değerine bağlantının uç bölgelerinde ulaştığı sonucuna varmışlardır[14].

Bir diğ. araştırmada ise Lee ve diğ. yapıştırıcının kullanılan bağlantıda uygun koşulların oluşması için yapıştırıcının mekanik özelliklerinin tek başına bilinmesinin yeterli olmadığına ve yapıştırıcı ile yapıştırılan malzeme arasındaki ara yüz davranışının bilinmesi gerektiğine inanmaktadırlar. Geniş bir uygulama yelpazesine sahip yapışkan bölge (cohesive zone) sayısal modelini kullanarak sayısal ve deneysel çalışmalar yapmışlardır[15].

Bir diğ. araştırmada ise Yang ve diğ. tekli bindirme ile yapıştırılan kompozit bağlantılarında, analitik bir model geliştirerek yapışkan gerilme dağılımlarını belirlemeye çalışmışlardır. Bu modelde yapışkan von Mises akma kriterine göre elastik-tam plastik, kompozit numuneler ise lineer elastik kabul edilmiştir. Yapıştırılmış kompozit plakaların genel denklemlerinin türetilmesinde, tabakalanmış anizotropik plaka teorisini uygulamışlardır. Bu model nümerik olarak analiz edilip sonuçların doğru olduğunu göstermişlerdir[16].

Bu çalışmada, yapıştırma bağlantıların mukavemeti üzerine normal ve kayma gerilmelerinin etkilerini daha iyi anlamak üzere koniklik açısının değişimi ile ara yüzeyde oluşacak normal ve kayma gerilmelerin değişmesine imkân veren bir geometri olan uç uca konik yapıştırma bağlantı geometrisi incelendi. Alüminyum ve yapı çeliği olmak üzere yapıştırılan iki malzeme farklı açılarda konik yapıştırma yüzeyleri DP810 yapısal yapıştırıcı kullanılarak elde edilen uç uca bağlantının (butt joint) sayısal analizi yapıldı.

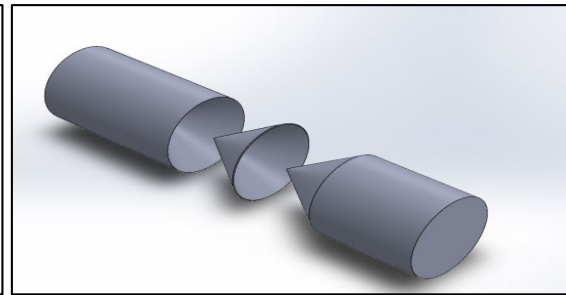
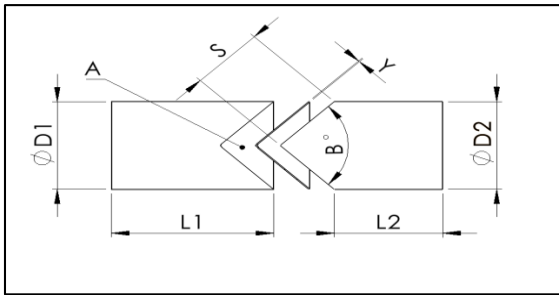
2. Yöntem

Bu çalışma kapsamında, nümerik analizler için sonlu elemanlar yöntemi ile analizlerin yapıldığı ANSYS 20.2 WORKBENCH paket programı kullanılmıştır. Çalışmada yapıştırıcı kullanılarak konik yüzey geometrisine sahip metallerin birleştirilmesi ve meydana gelecek hasar yükünün, gerilmelerin, birleştirilen parçaların geometrilerinin ve yüzey alanlarının yapıştırma

performansına etkileri nümerik olarak incelenmiştir. Kullanılan metaller Yapısal çelik ve AA 2024 T3, yapıştırıcı ise DP810 endüstriyel yapıştırıcıdır. Bu materyaller üzerinde analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerde modellenmiş olan üç boyutlu tasarımların çizim detayları ve yine materyallere ait çeşitli mekanik değerler alt başlıklarda verilmiştir.

2.1. Konik Bağlantı Detayları

Şekil 1 yapıştırıcı ile birleştirilmiş konik bağlantılarının teknik resmi, Çizelge 1’de ise bu bağlantıların ölçüleri ve SolidWorks 16 paket programı kullanılarak oluşturulan konik yüzey geometri bağlantıların katı modeli Şekil 2 gösterilmiştir.



Şekil 1. Konik geometri bağlantının teknik resmi.

Şekil 2. Konik yüzey geometri bağlantı katı modeli.

Çizelge 1. Konik yüzey geometri bağlantıların ölçüleri.

| B (°) | D1 (mm) | D2 (mm) | L1 (mm) | L2 (mm) | Y (mm) | S (mm) | A (mm ²) |
|-------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|----------------------|
| 20,36 | 10 | 10 | 47,83 | 20 | 0,2 | 28,28 | 444,22 |
| 40,56 | 14 | 14 | 38,94 | 20 | 0,2 | 20,2 | 444,13 |
| 69,9 | 18 | 18 | 30 | 20 | 0,2 | 15,71 | 444,21 |
| 90 | 20 | 20 | 30 | 20 | 0,2 | 14,14 | 444,29 |
| 165,2 | 23,68 | 23,68 | 30 | 20 | 0,2 | 11,94 | 444,15 |
| 180 | 23,78 | 23,78 | 30 | 30 | 0,2 | 0 | 444,29 |

2.2. Materyallere ait mekanik özellikler

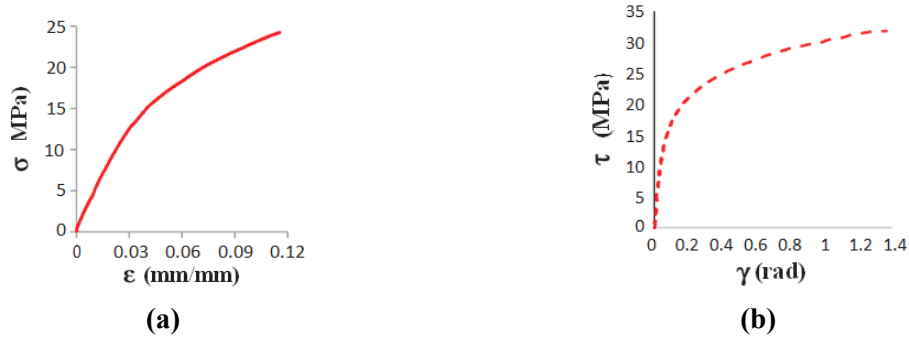
Yapısal çelik ve Alüminyum alaşımı 2024 T3’ün mekanik özellikleri Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Yapısal çelik ve Alüminyum alaşımının mekanik özellikleri.

| | Yapısal çelik | Alüminyum alaşımı |
|------------------|-----------------------------|------------------------------|
| Young Modülü | 200 GPa | 73,1 GPa |
| Poisson Oranı | 0,30 | 0,3 |
| Yoğunluk | 7,85e-06 kg/mm ³ | 2,768e-06 kg/mm ³ |
| Kayma Modülü | 76,923 GPa | 28 GPa |
| Akma Dayanımı | 250 MPa | 385 MPa |
| Çekme Mukavemeti | 460 MPa | 427,90 MPa |

Yapıştırıcı olarak, pek çok alanda tamir ve birleştirme amacıyla kullanılan, nemli çevre şartlarına karşı dirençli ve nemden dolayı dayanımlarında azalma söz konusu olmayan, 3M

Scotch-Weld firmasının ürettiği DP810 yapıştırıcı kullanılmıştır. Yapıştırıcının mekanik özellikleri Şekil 3 ve Çizelge 3'de verilmiştir.



Şekil 3. Yapıştırıcının mekanik özellikleri: a. DP810 için çekme gerilimi-gerinim eğrisi, b. DP810 için kayma gerilimi-gerinim eğrisi[17].

Çizelge 3. Yapıştırıcının mekanik özellikleri [17].

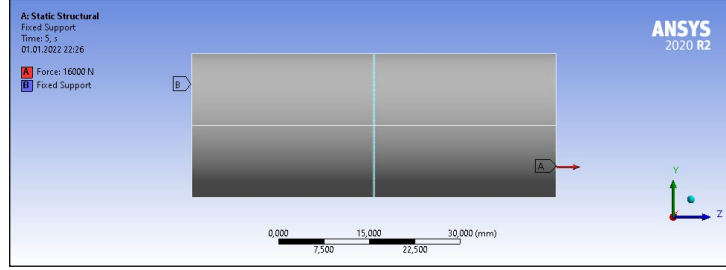
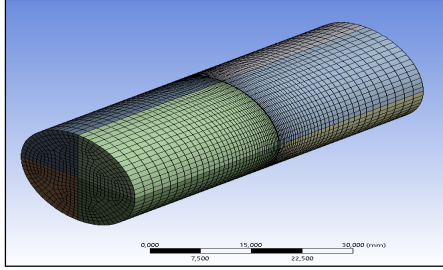
| Dp810 için mekanik özellikler | |
|---|----------------|
| Elastiklik Modülü, E [MPa] | 497.76 ± 28.75 |
| Poisson oranı, ν | 0.35 |
| Akma Mukavemeti (Normal), σ_y [MPa] | 15.38 ± 3.48 |
| Kopma Mukavemeti, σ_f [MPa] | 20.07 ± 2.61 |
| Kopma Uzaması (Normal), ϵ_f (%) | 0.078 ± 0.02 |
| Kayma Modülü, G [MPa] | 184.35 ± 28.75 |
| Akma Mukavemeti (Kayma), τ_y [MPa] | 15.28 ± 4.8 |
| Kopma Mukavemeti(Kayma), τ_f [MPa] | 29.73 ± 2.02 |
| Kopma Uzaması(Kayma), γ_f (%) | 0.12 ± 0.008 |
| Tokluk(Normal Doğrultuda), G_n^0 [N/mm] | 0.78 |
| Tokluk(Kayma Doğrultusunda), G_s^0 [N/mm] | 1.78 |

2.3. Nümerik Çalışma

Nümerik çalışma, bilgisayar ortamında gerçekleştirilmiş çeşitli hasar verilerin elde edilmesi üzerine kuruludur. Bu başlık altında çalışmanın nasıl ilerlediği, elde edilen verilere, çeşitli görsel sunumlara ve elde edilen verilerin karşılaştırmalı grafiklerine yer verilmiştir.

Analizler için SolidWorks 16 paket kullanılarak oluşturulan modeller, ANSYS 20.2 WORKBENCH içerisine aktarılıp, Şekil 3 te gerilme şekil değiştirme diyagramları verilen elasto-plastik malzeme tanımlanması gerçekleştirildikten sonra bağlantılar düzenlenmiştir. Ardından modeller sonlu elemanlara bölünmüştür ve sınır şartları uygulanmıştır. Tüm modeller; bir uçtan ankastre olup diğer uçtan çekme kuvveti ile zorlanmıştır ve non lineear analizler bu

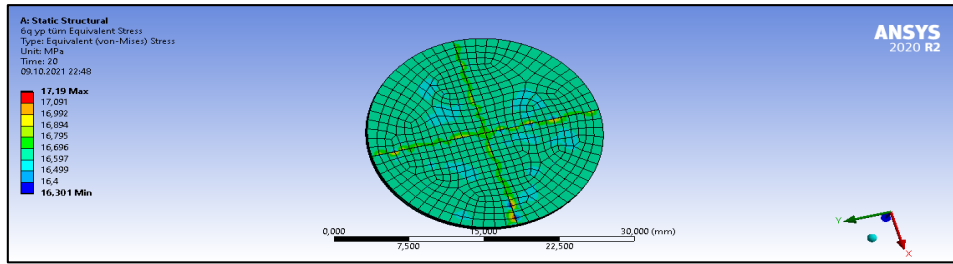
şekilde gerçekleştirilmiştir. Hasar yüklerinin belirlenmesinde von-Mises akma kriteri kullanılarak bağlantıda kullanılan malzemelerde oluşan en büyük eşdeğer gerilme o malzemenin hasar gerilmesine eşit olduğu yük hasar yükü olarak belirlenmiştir. Şekil 4’de modelin meshlenmiş hali, Şekil 5’de uygulanan sınır şartları gösterilmektedir.



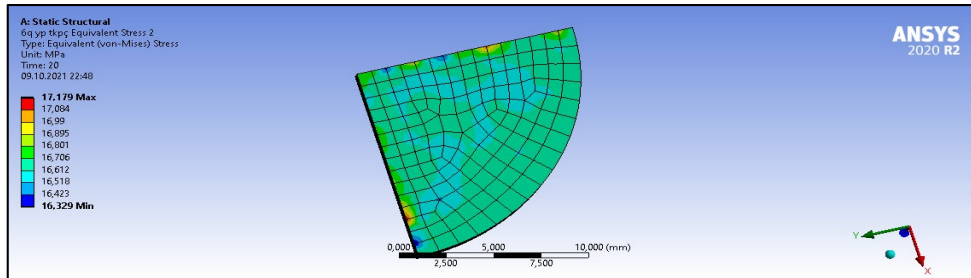
Şekil 4. Modelin meshlenmiş hali.

Şekil 5. Modele uygulanan sınır şartları.

Analizler yapılırken oluşturulan üç boyutlu modeller silindirik yapıştırma bağlantısının simetrik yapısından dolayı tam model ve çeyrek model arasında alınan sonuçlarda fark olup olmadığını gözlemleyebilmek için analizler çeyrek modeller için tekrarlandı. Analizlerde uygulanan kuvvet, tam model ve çeyrek model arasında 4/1 oranında fark olacak şekilde uygulanmıştır. Analiz yapıldıktan sonra tam ve çeyrek modelin sonuçları arasında çok küçük fark olduğundan analizlere çeyrek modellerle devam edilmiştir. Şekil 6 ve Şekil 7’de tam ve çeyrek modelde yapıştırıcıda oluşan von Mises akma kriterine göre alınan sonuçlar verilmiştir.

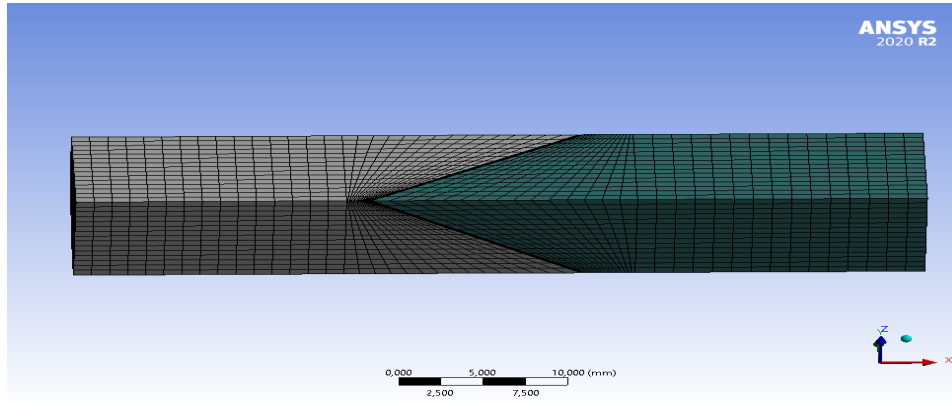


Şekil 6. Tam model yapıştırıcıda meydana gelen gerilme durumu.



Şekil 7. Çeyrek model yapıştırıcıda meydana gelen gerilme durumu.

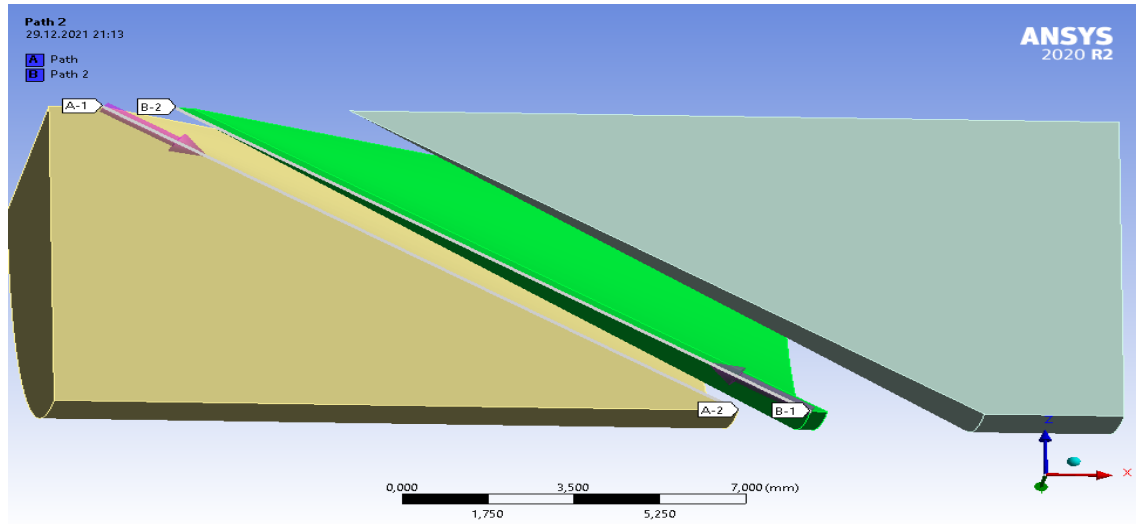
Analizlerde kullanılan çeyrek modelin meshlenmiş hali Şekil 8’de verilmiştir. Meshlerdeki düğüm ve elaman sayısı kritik noktadaki gerilmelerin değişmediği gözlemlenene kadar artırılmıştır.



Şekil 8. Çeyrek modelin meshlenmiş hali.

3. Araştırma Bulguları

Bu bölümde, yapıştırma bağlantılarının sayısal çalışmalar neticesinde elde edilen sonuçları değerlendirilmiştir. Nümerik analizlerde incelemek üzere bütün modellerde 2 adet gerilme hattı oluşturulmuştur. Hatlar hasarın ilk olarak gerçekleştiği yerler referans alınarak oluşturulmuştur. Bu hatlar Şekil 9'da ki gibidir.



Şekil 9. Nümerik analizlerde incelenen gerilme hatları.

Çeyrek modellerde analizler tekrar gerçekleştirilerek yapıştırıcıda meydana gelen hasar yükleri tespit edilmiştir. Hasar yüklerinin hangi kuvvette gerçekleştiğini görmek adına analiz eşit adımlarla gerçekleştirilmiş ve en düşük kuvvette elde edilen hasar yükü tespit edilmiştir. Çizelge 4'de hasar yükleri verilmiştir. Bu hasar yüklerinden yola çıkarak geometrilerin mukayese edilebilmesi açısından en düşük hasar yükünün 1 adım öncesi olan yük (480 N) değerinde parçalar üzerinde oluşan gerilmelerin grafikleri çizilmiştir.

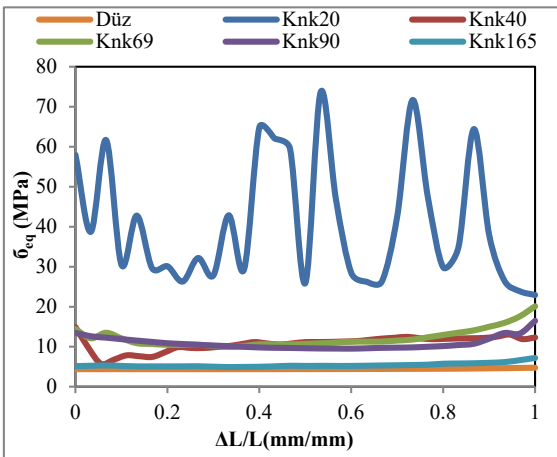
Çizelge 4. Alüminyum alaşımı-DP810 ve Yapısal Çelik - DP810 için hasar yükü değerleri.

| GEOMETRİ | Alüminyum Alaşımı 2024, T3 - DP810 KUVVET (N) | Yapısal Çelik - DP810 KUVVET (N) |
|--------------|--|-------------------------------------|
| DÜZ 4/1 | 3760 | 4240 |
| KONİK20 4/1 | 720 | 560 |
| KONİK40 4/1 | 720 | 880 |
| KONİK69 4/1 | 1200 | 1360 |
| KONİK90 4/1 | 2080 | 2080 |
| KONİK165 4/1 | 3520 | 3920 |

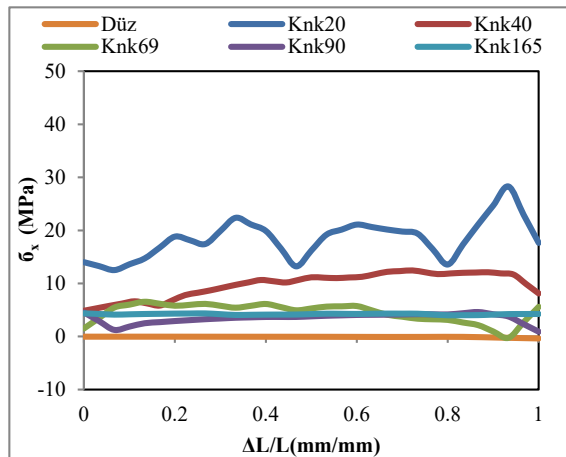
3.1. Alüminyum Alaşımı İle Yapılan Yapışma Bağlantılarının Nümerik Analizi

3.1.1. Al-Dp810 Konik geometrilerin P1 hattı boyunca gerilme dağılımları

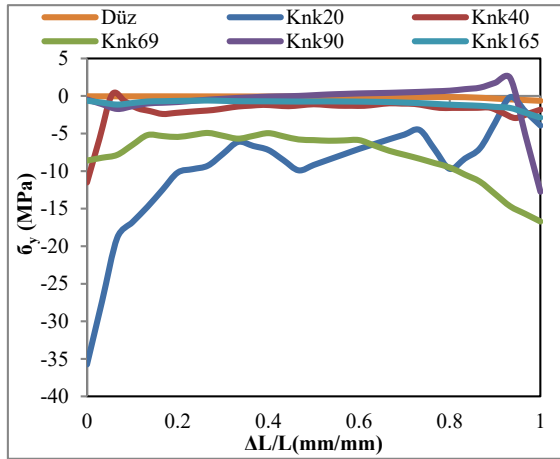
Şekil 10, 11, 12 ve 13'de Alüminyum alaşımı tanımlanan, düz ve konik geometriler üzerinde oluşturulan, P1 hattı boyunca σ_{eq} , σ_x , σ_y , σ_z gerilme dağılımları verilmiştir. Şekiller incelendiğinde gerilmeler geometrilerin çoğu için hat üzerindeki noktalarda birbirine yakın seyrederken, geometrilerdeki B açısının azalmasıyla konikliğin artması nedeniyle konik20 geometrisinde gerilmelerin hat üzerindeki her noktada birbirinden farklı ve diğer geometrilerden daha yüksek gerilmeye sebep olduğu görülmüştür. Hattın başlangıç ve bitiş noktalarında gerilme değerleri yükselmekte orta hatlarda ise düşük bir seyir izlemektedir. Normal gerilmeler incelendiğinde koniklik açısının azalması ile yani konikliğin artması ile σ_x değeri giderek artmaktadır. Bunun nedeni düz bağlantıda teorik σ_x gerilmesi 1 (480 N /444,29 mm²=1.08) Mpa civarında olması gerekir. Şekil 11'de düz bağlantı için σ_x gerilmesi bu değerle uyumlu çıkmıştır. Fakat konikliğin artması ile bağlantı bölgesinde nispeten tek eksenli gerilme durumundan çok eksenli gerilme durumuna geçilmektedir ve bu durum normal gerilmelerin artmasına sebep olur. Yine Şekil 11'deki σ_x gerilmeleri incelendiğinde konikliğin artması ile σ_x gerilmesini buna paralel arttığı görülmektedir.



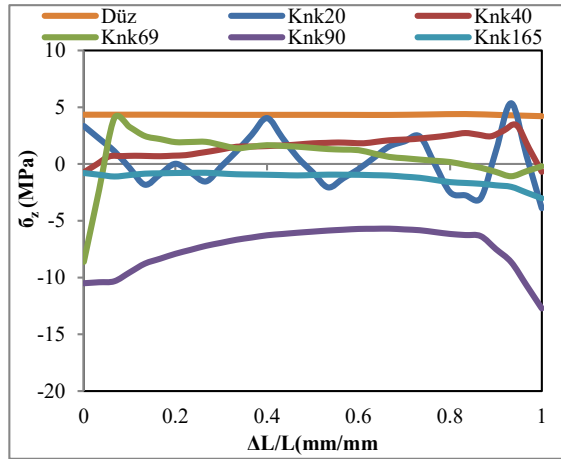
Şekil 10. Konik geo. P1 hattı boyunca σ_{eq} (MPa) eşdeğer gerilme dağılımları(Al-Dp810).



Şekil 11. Konik geo. P1 hattı boyunca σ_x (MPa) normal gerilme dağılımları(Al-Dp810).



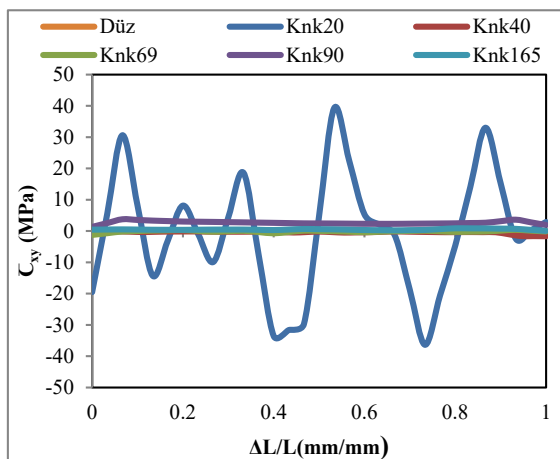
Şekil 12. Konik geo. P1 hattı boyunca σ_y (MPa) normal gerilme dağılımları (Al-Dp810).



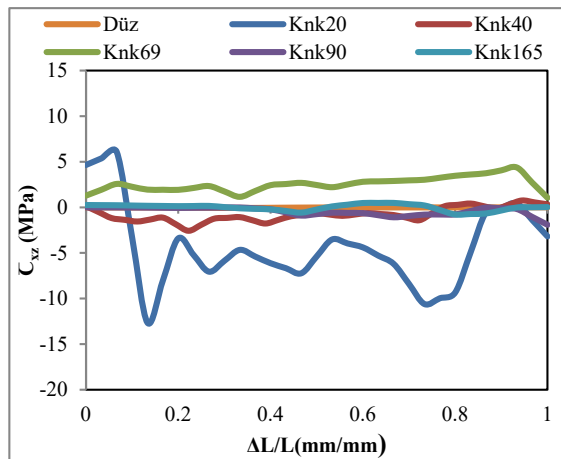
Şekil 13. Konik geo. P1 hattı boyunca σ_z (MPa) normal gerilme dağılımları (Al-Dp810).

Şekil 12'deki σ_y gerilmelerin bağlantı tipine göre değişimi de konikliğin artması ile tek eksenli gerilme durumundan çok eksenli gerilme durumuna geçişe uygun şekilde giderek artmıştır. Ayrıca x eksenini doğrultusunda çekmeye maruz bağlantıda σ_x gerilmelerin çeki karakterli olmasına karşın σ_y ve σ_z gerilmelerin bası karakterli olması bağlantı bölgesinin x doğrultusunda çekmeye karşılık diğer eksenlerdeki daralmadan kaynaklanmaktadır. Şekil 10'daki eşdeğer gerilmeler incelendiğinde konikliğin artması ile ara yüzeyde oluşan normal ve kayma gerilmelerin artmasına paralel olarak eş değer gerilmeler de artmıştır.

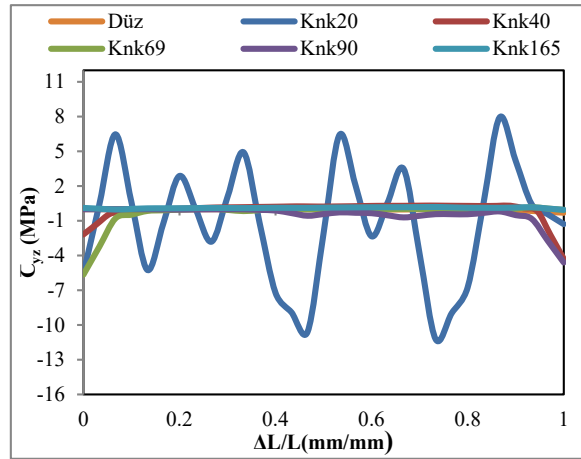
Şekil 14, 15 ve 16'de Alüminyum alaşımı tanımlanan, düz ve konik geometriler üzerinde oluşturulan, P1 hattı boyunca C_{xy} , C_{xz} , C_{yz} gerilme dağılımları verilmiştir. Şekiller incelendiğinde C_{xy} , C_{xz} , C_{yz} kayma gerilmeleri hat boyunca konik geometriler için benzer ve düşük değerler almıştır ve bununla birlikte konik20 normal gerilmelerde olduğu gibi kayma gerilmelerinde de hattın her noktasında farklı ve diğer geometrilerden daha yüksek gerilmelere sahiptir. Özellikle konikliğin artması ile kayma gerilmeleri giderek artmıştır. Bunun nedeni bağlantı bölgesinde konikliğin artması ile ara yüzeyler kesme kuvvetlerine ve dolayısıyla kayma gerilmelerine daha fazla maruz kalmaktadır.



Şekil 14. Konik geo. P1 hattı boyunca C_{xy} (MPa) kayma gerilme dağılımları (Al-Dp810).



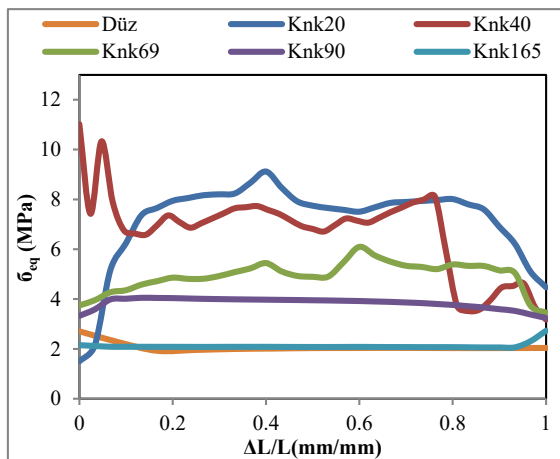
Şekil 15. Konik geo. P1 hattı boyunca C_{xz} (MPa) kayma gerilme dağılımları (Al-Dp810).



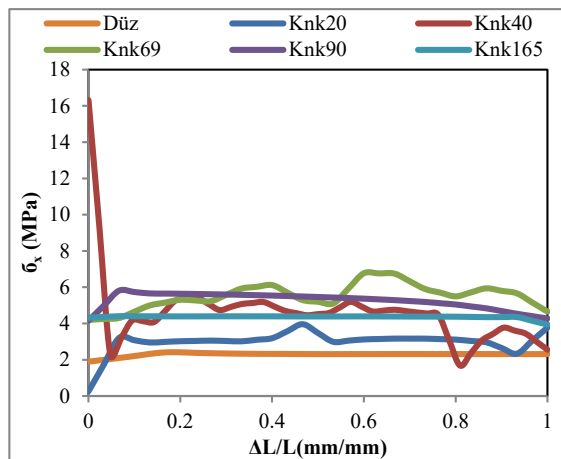
Şekil 16. Konik geo. P1 hattı boyunca C_{yz} (MPa) kayma gerilme dağılımları (Al-Dp810).

3.1.2. Al-Dp810 Konik geometrilerin P2 hattı boyunca gerilme dağılımları

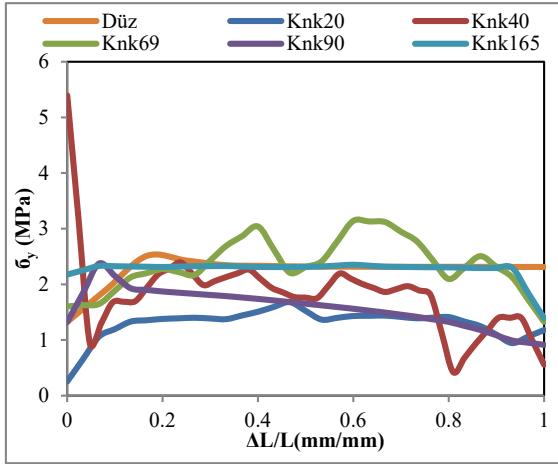
Şekil 17, 18, 19 ve 20'de Alüminyum alaşımı tanımlanan, düz ve konik geometriler üzerinde oluşturulan, P2 hattı boyunca σ_{eq} , σ_x , σ_y , σ_z gerilme dağılımları verilmiştir. Şekiller incelendiğinde gerilmeler geometrilerin çoğu için hat üzerindeki noktalarda birbirine yakın ama farklı değerler almaktadır. Konik40 için gerilme değerleri hattın başında diğer geometrilerden daha yüksek değerler almıştır ve hattın sonuna doğru azalarak devam etmiştir. Konik20 için gerilme değerleri hattın başlangıcında en düşük değerleri almasına karşın hattın sonlarında bir miktar artış göstermektedir ve en yüksek gerilme değerine σ_{eq} eşdeğer gerilme değerinde ulaşmıştır. En yüksek σ_z normal gerilme değeri düz geometridedir. Daha önce de ifade edildiği gibi konikliğin artması ile çok eksenli gerilme durumu oluşmakta ve bu durum ara yüzeyde hem yapıştırılan malzemede hem de yapıştırıcı yüzeyinde oluşan normal ve kayma gerilmelerini arttırmaktadır. Artan normal ve kayma gerilmeleri de eşdeğer gerilmelerin artmasına neden olmaktadır.



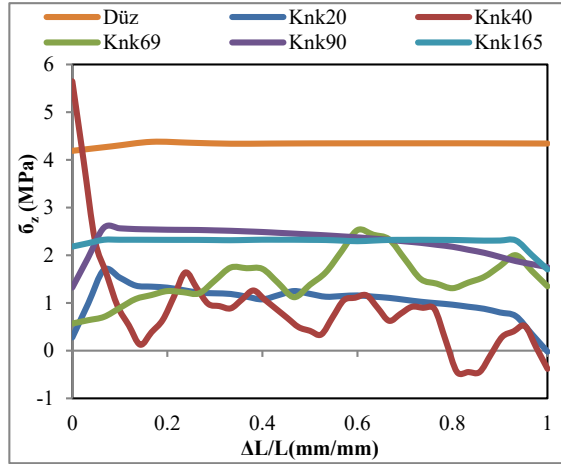
Şekil 17. Konik geo. P2 hattı boyunca σ_{eq} (MPa) eşdeğer gerilme dağılımları (Al-Dp810).



Şekil 18. Konik geo. P2 hattı boyunca σ_x (MPa) normal gerilme dağılımları (Al-Dp810).

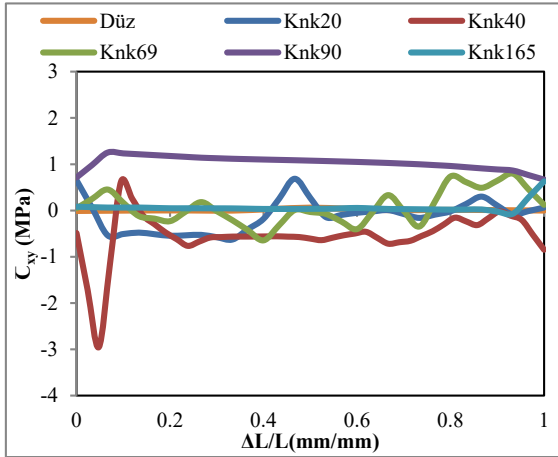


Şekil 19. Konik geo. P2 hattı boyunca σ_y (MPa) normal gerilme dağılımları (Al-Dp810).

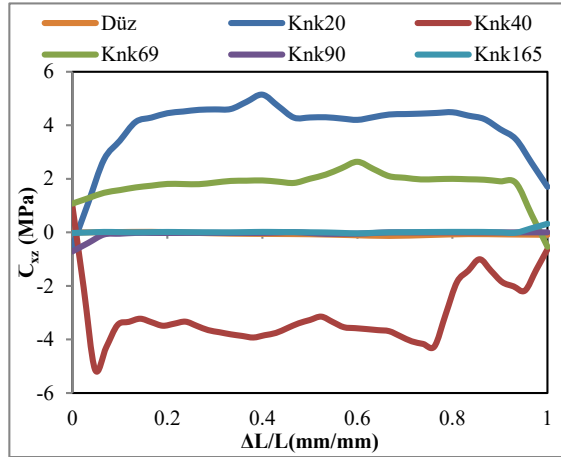


Şekil 20. Konik geo. P2 hattı boyunca σ_z (MPa) normal gerilme dağılımları (Al-Dp810).

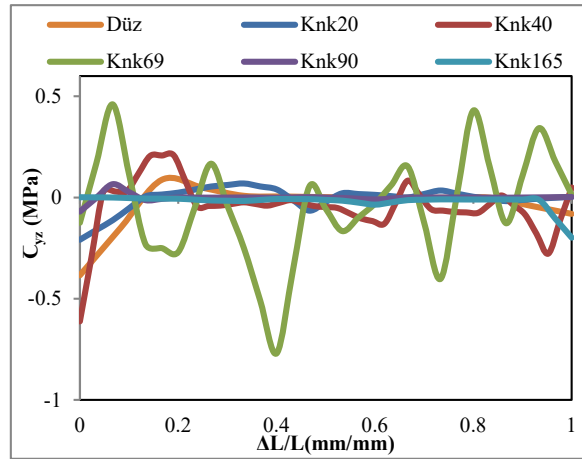
Şekil 21, 22 ve 23'de Alüminyum alaşımı tanımlanan, düz ve konik geometriler üzerinde oluşturulan, P2 hattı boyunca C_{xy} , C_{xz} , C_{yz} gerilme dağılımları verilmiştir. Şekil 19 incelendiğinde C_{xy} kayma gerilmesi genel olarak hat boyunca küçük farklarla seyretmektedir. Şekil 20 incelendiğinde C_{xz} kayma gerilmeleri incelendiğinde hat üzerinde oluşan gerilmeler geometriler arasında farklı ama değişmeyen değerlerle seyretmektedir. Şekil 21 incelendiğinde C_{yz} kayma gerilmeleri hat başlangıcında farklı değerler vermekteyken hattın ortalarına doğru yakın değerler vermektedir. Konik69'un bazı noktalarda tepe ve çukur noktası oluşturduğu görülmektedir. Gerilmeler incelendiğinde koniklik açısının azalması ile yani konikliğin artması ile kayma gerilmeleri giderek artmıştır. Bunun nedeni bağlantı bölgesinde konikliğin artması ile ara yüzeyler kesme kuvvetlerine ve dolayısıyla kayma gerilmelerine daha fazla maruz kalmaktadır.



Şekil 21. Konik geo. P2 hattı boyunca C_{xy} (MPa) kayma gerilme dağılımları (Al-Dp810).



Şekil 22. Konik geo. P2 hattı boyunca C_{xz} (MPa) kayma gerilme dağılımları (Al-Dp810).

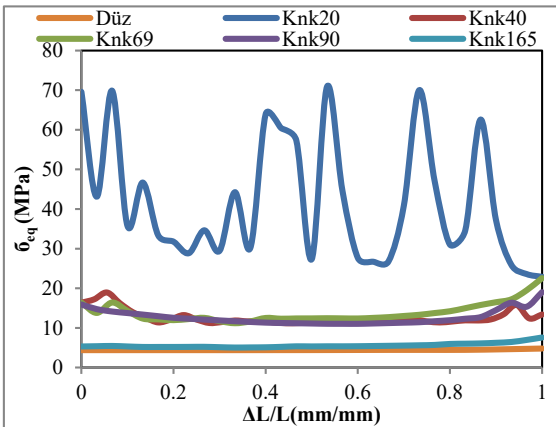


Şekil 23. Konik geo. P2 hattı boyunca C_{yz} (MPa) kayma gerilme dağılımları (Al-Dp810).

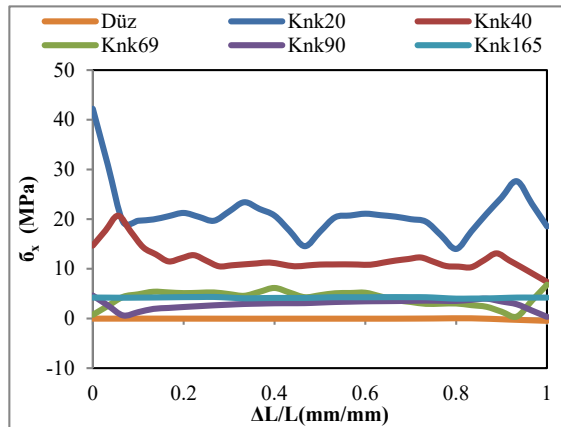
3.2. Yapısal Çelik İle Yapılan Yapışma Bağlantılarının Nümerik Analizi

3.2.1. Y.Çelik-Dp810 Konik geometrilerin P1 hattı boyunca gerilme dağılımları

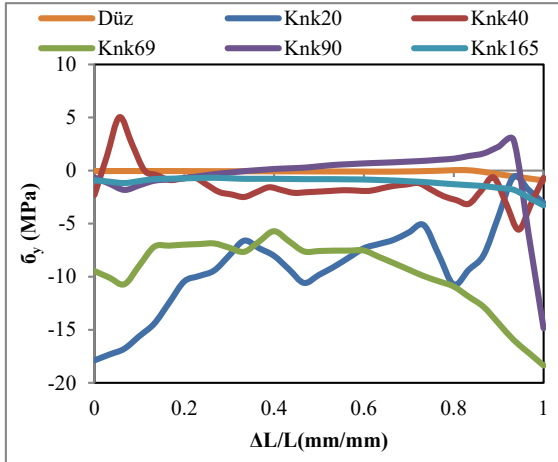
Şekil 24, 25, 26 ve 27'de Yapısal çelik tanımlanan, düz ve konik geometriler üzerinde oluşturulan, P1 hattı boyunca σ_{eq} , σ_x , σ_y , σ_z gerilme dağılımları verilmiştir. Şekiller incelendiğinde gerilmeler alüminyum gerilme grafiklerine görünüm bakımından benzemekle birlikte gerilme değerleri ve hat üzerinde oluşan gerilmelerdeki artma ve azalma miktarı çelikte daha fazladır. Şekil 22 incelendiğinde konik20'nin σ_{eq} normal gerilmeleri hat boyunca değişkendir. Bununla birlikte konik20 hat üzerinde çukur ve tepe noktaları oluşturmuştur. Şekil 25 incelendiğinde konik90'nun σ_z gerilme değerleri negatif yönde diğer geometrilerden daha yüksek seviyededir. Konikliğin artması ile bağlantı bölgesinde tek eksenli gerilme durumundan çok eksenli gerilme durumuna geçilmektedir ve bu durum normal gerilmelerin artmasına sebep olur. Bununla birlikte x eksenini doğrultusunda çekmeye maruz bağlantıda σ_x gerilmelerin çeki karakterli olduğu halde σ_y ve σ_z gerilmelerin bası karakterli olması bağlantı bölgesinin x doğrultusunda çekmeye karşılık diğer eksenlerdeki daralmadan kaynaklanmaktadır.



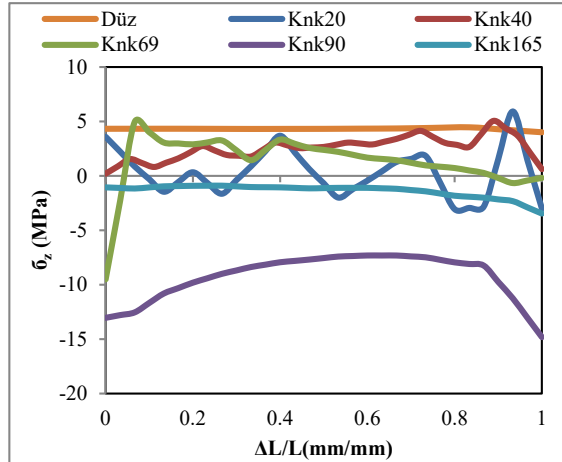
Şekil 24. Konik geo. P1 hattı boyunca σ_{eq} (MPa) eşdeğer gerilme dağılımları (Y.Çelik-Dp810).



Şekil 25. Konik geo. P1 hattı boyunca σ_x (MPa) normal gerilme dağılımları (Y.Çelik-Dp810).

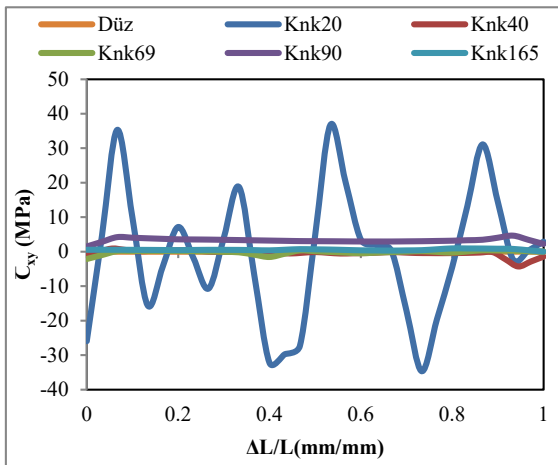


Şekil 26. Konik geo. P1 hattı boyunca σ_y (MPa) normal gerilme dağılımları (Y.Çelik-Dp810).

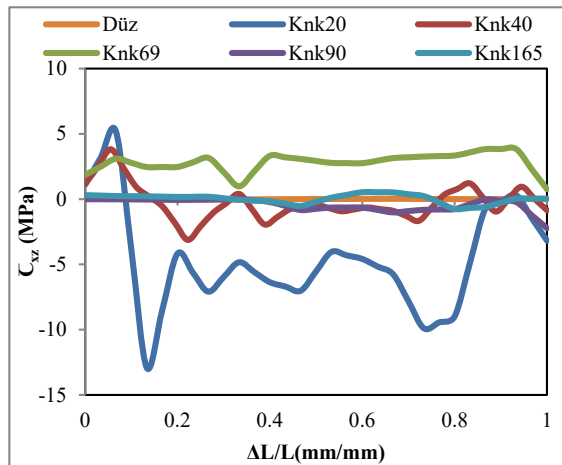


Şekil 27. Konik geo. P1 hattı boyunca σ_z (MPa) normal gerilme dağılımları (Y.Çelik-Dp810).

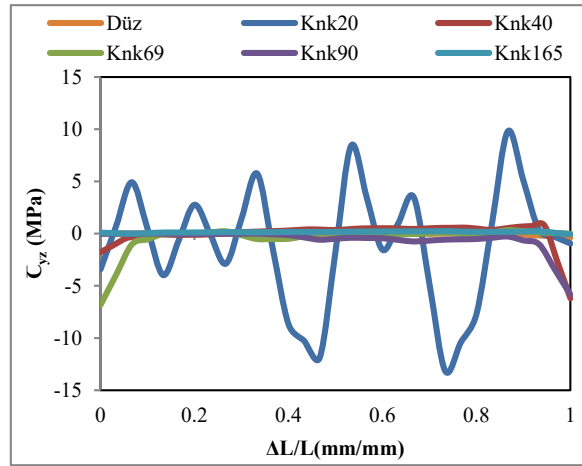
Şekil 28, 29 ve 30'da Yapısal çelik tanımlanan, düz ve konik geometriler üzerinde oluşturulan, P1 hattı boyunca C_{xy} , C_{xz} , C_{yz} gerilme dağılımları verilmiştir. Şekiller incelendiğinde gerilme değerleri alüminyum gerilme değerlerine benzemektedir fakat alüminyuma göre hat üzerinde bazı noktalarda biraz daha yüksektir. Hat üzerindeki bazı noktalarda ise alüminyuma nazaran sapma miktarı fazladır. Şekil 27 incelendiğinde konik40 için C_{xz} kayma gerilmeleri alüminyumdaki C_{xz} kayma gerilmelerinden farklı olduğu görülmektedir. Hattın başlangıç ve bitiş noktalarında yakın değerler, hattın ortalarına doğru az bir değişkenlik göstermiştir. Şekil 28 incelendiğinde C_{yz} kayma gerilmeleri hat boyunca birbirine yakın değerlerle devam ederken hattın sonuna doğru saptılmaktadırlar. Konik20'nin bazı noktalarda tepe ve çukur noktası oluşturduğu görülmektedir. Daha önce de ifade edildiği gibi gerilmeler incelendiğinde konikliğin artması ile kayma gerilmeleri giderek artmıştır. Bunun nedeni artan koniklik sebebiyle ara yüzeyler kesme kuvvetlerine ve dolayısıyla kayma gerilmelerine daha fazla maruz kalmaktadır.



Şekil 28. Konik geo. P1 hattı boyunca C_{xy} (MPa) kayma gerilme dağılımları (Y.Çelik-Dp810).



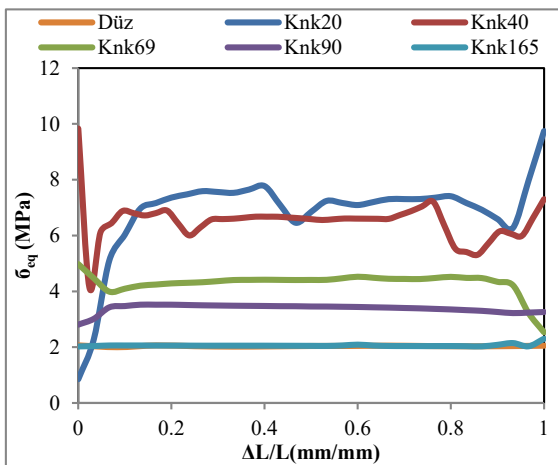
Şekil 29. Konik geo. P1 hattı boyunca C_{xz} (MPa) kayma gerilme dağılımları (Y.Çelik-Dp810).



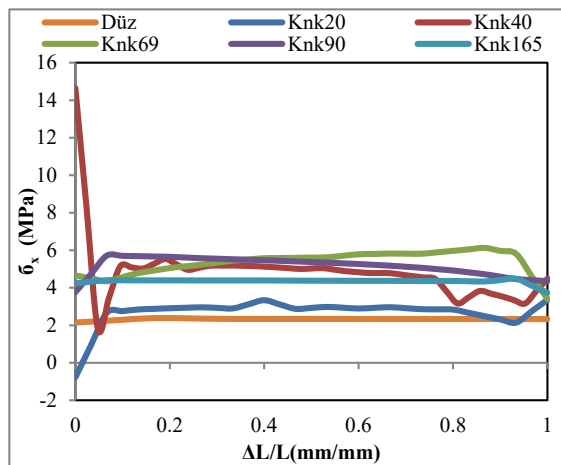
Şekil 30 : Konik geo. P1 hattı boyunca C_{yz} (MPa) kayma gerilme dağılımları (Y.Çelik-Dp810).

3.2.2. Y.Çelik-Dp810 Konik geometrilerin P2 hattı boyunca gerilme dağılımları

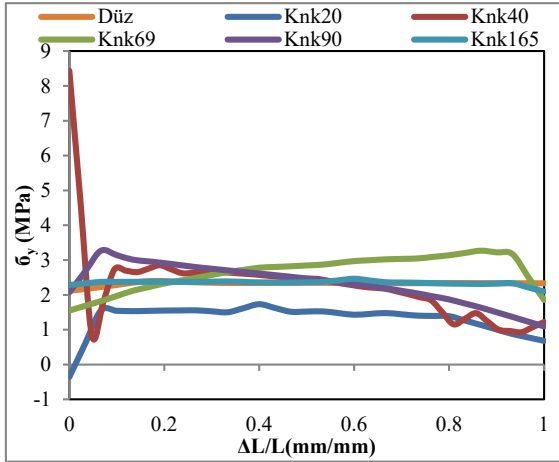
Şekil 31, 32, 33 ve 34'de Yapısal çelik tanımlanan, düz ve konik geometriler üzerinde oluşturulan, P2 hattı boyunca $\bar{\sigma}_{eq}$, $\bar{\sigma}_x$, $\bar{\sigma}_y$, $\bar{\sigma}_z$ gerilme dağılımları verilmiştir. Şekiller incelendiğinde gerilmeler geometrilerin çoğu için hat üzerindeki noktalarda birbirine yakın ama farklı değerler almaktadır. Konik40 için gerilme değerleri hattın başında diğer geometrilerden daha yüksek değerler almıştır ve hattın sonuna doğru azalarak devam etmiştir. Şekil 29 incelendiğinde Konik20 için gerilme değerleri hattın başlangıcında en düşük değerleri almasına karşın hatta artarak devam etmiştir. $\bar{\sigma}_{eq}$ eşdeğer gerilme değerleri konik20 ve konik40 hariç diğer geometriler eşit değerlerle devam etmektedir. Koniklik açısının azalması konikliğin artmasına sebep olur bu durum tek eksenli gerilme durumundan çok eksenli gerilme durumuna geçişe sebep olmaktadır. Dolayısıyla durum ara yüzeyde yapıştırılan malzeme ve yapıştırıcı yüzeyinde oluşan normal ve kayma gerilmelerini arttırmaktadır. Normal ve kayma gerilmelerindeki bu artış eşdeğer gerilmelerin artmasına neden olmaktadır.



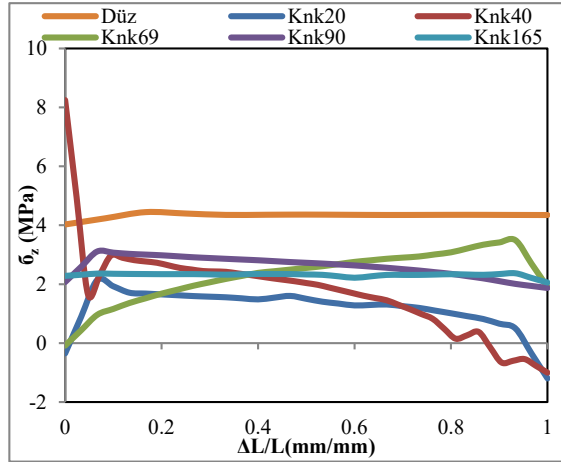
Şekil 31. Konik geo. P2 hattı boyunca $\bar{\sigma}_{eq}$ (MPa) eşdeğer gerilme dağılımları (Y.Çelik-Dp810).



Şekil 32. Konik geo. P2 hattı boyunca $\bar{\sigma}_x$ (MPa) normal gerilme dağılımları (Y.Çelik-Dp810).



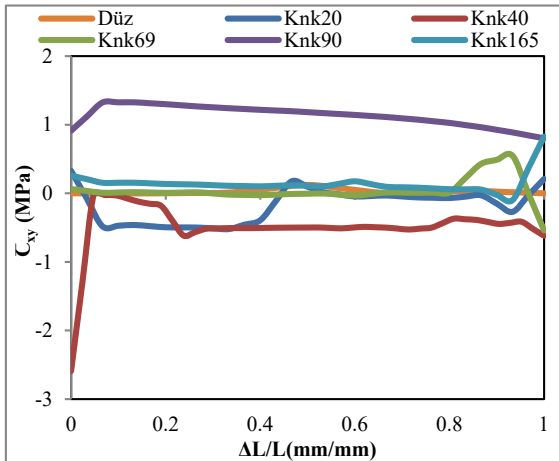
Şekil 33. Konik geo. P2 hattı boyunca σ_y (MPa) normal gerilme dağılımları (Y.Çelik-Dp810).



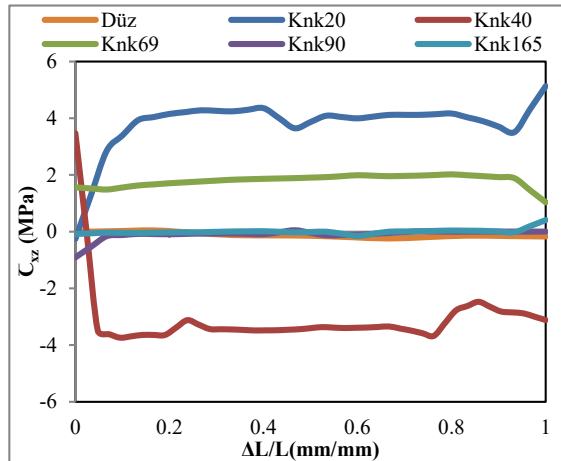
Şekil 34. Konik geo. P2 hattı boyunca σ_z (MPa) normal gerilme dağılımları (Y.Çelik-Dp810).

Şekil 35, 36 ve 37'de Yapısal çelik tanımlanan, düz ve konik geometriler üzerinde oluşturulan, P2 hattı boyunca C_{xy} , C_{xz} , C_{yz} gerilme dağılımları verilmiştir. Şekil 33 incelendiğinde C_{xy} kayma gerilmesi genel olarak hat boyunca küçük farklarla seyretmektedir. Şekil 34 incelendiğinde C_{xz} kayma gerilmeleri incelendiğinde hat üzerinde oluşan gerilmeler kararlı devam etmektedir. Şekil 35 incelendiğinde C_{yz} kayma gerilmeleri hat başlangıcı haricinde belirgin bir aralıkta değer almaktadır. Daha önce de ifade edildiği gibi ara yüzeylerin kesme kuvvetlerine daha fazla maruz kalmasına konikliğin artışı sebep olmuştur. Artan kesme kuvvetleri kayma gerilmelerini arttırmıştır.

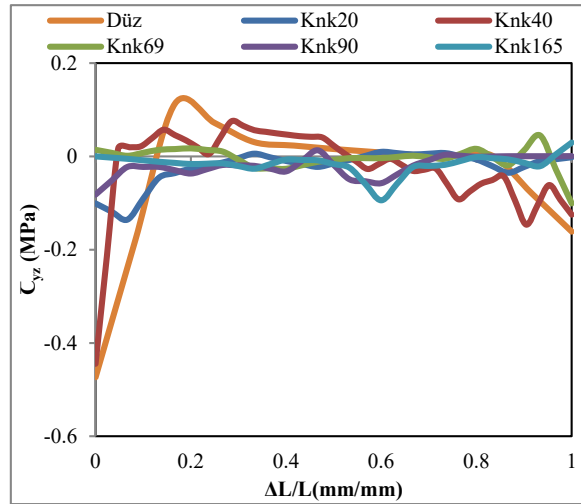
Ayrıca yapıştırılan malzemeler açısından bakıldığında, yapıştırıcı ile yapıştırılan çelik malzemelerde oluşan gerilmelerin, yapıştırıcı ile yapıştırılan alüminyum malzemelerde oluşan gerilmelerden daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun nedeni beraber hareket eden yapıştırıcı-çelik ara yüzeylerinde oluşan şekil değiştirmelerin, yapıştırıcı-alüminyum ara yüzeyinde oluşan şekil değiştirmelerine göre daha uyumsuz olmalarındandır.



Şekil 35. Konik geo. P2 hattı boyunca C_{xy} (MPa) kayma gerilme dağılımları (Y.Çelik-Dp810).



Şekil 36. Konik geo. P2 hattı boyunca C_{xz} (MPa) kayma gerilme dağılımları (Y.Çelik-Dp810).



Şekil 37. Konik geo. P2 hattı boyunca C_{yz} (MPa) kayma gerilme dağılımları (Y.Çelik-Dp810).

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, yapıştırma bağlantılarının mukavemeti üzerine normal ve kayma gerilmelerinin etkilerini daha iyi anlamak üzere koniklik açısının değişimi ile ara yüzeyde oluşacak normal ve kayma gerilmelerin değiştiği uç uca konik yapıştırma bağlantı geometrisi incelendi. Alüminyum ve yapı çeliği olmak üzere yapıştırılan iki malzeme farklı açılarda konik yapıştırma yüzeyleri DP810 yapısal yapıştırıcı kullanılarak elde edilen uç uca bağlantının (butt joint) sayısal analizi yapıldı. Çekme kuvveti etkisinde yapıştırıcıda meydana gelecek hasar yükünün, gerilmelerin, birleştirilen parçaların geometrilerinin ve yüzey alanlarının yapıştırma performansına etkileri nümerik olarak araştırılmıştır ve sonuçları aşağıda özetlenmiştir.

- Koniklik açısının azalması yani konikliğin artması ile yapışma alanları sabit kalmak şartıyla, tek eksenli gerilme durumundan çok eksenli gerilme durumuna geçilmekte ve bu durum da, gerilmelerin konikliğe bağlı olarak artmasına neden olmaktadır.
- Konikliğin artmasıyla ara yüzey normal kuvvetlerden daha ziyade kesme kuvvetlerine maruz kalmakta, buda kayma gerilmelerinin artmasına neden olmaktadır.
- Konik geometrilerde, koniklik açısının artması ile hasar yükünün artmakta olduğu görülmüştür.
- Yapıştırılan malzeme açısından; yapıştırıcı ile yapıştırılan çelik malzemelerde oluşan gerilmelerin, yapıştırıcı ile yapıştırılan alüminyum malzemelerde oluşan gerilmelerden daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun nedeni beraber hareket eden yapıştırıcı-çelik ara yüzeyinde oluşan şekil değiştirmelerin, yapıştırıcı-alüminyum ara yüzeyinde oluşan şekil değiştirmelerine göre daha uyumsuz olmalarındandır.
- Yapısal çelik bağlantısının, Alüminyum alaşımı bağlantısından daha fazla hasar yükü taşıdığı görülmüştür.
- Birleştirmelerin çekme kuvvetleri altındaki davranışları incelendiğinde; Düz geometrinin daha fazla çekme yükü taşıdığı görülmüştür.

Kaynaklar

- [1] Baldan, A., (2012), Adhesion phenomena in bonded joints. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 38, p. 95–116.
- [2] Gursel, A., (2019). Fundamentals in adhesive bonding design for complex structures and conditions. *Journal of Advanced Technology Sciences*, 8 (1) p. 1-10.
- [3] Şekercioğlu, T., (2018), Makine Elemanları Hesap Şekillendirme, Birsen yayın evi, 96-97.
- [4] Çalik, A., (2008), Yapıştırıcılar ve köşeleri yuvarlatılmış basamaklı bindirme yapıştırıcı bağlantılarda gerilme analizi, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- [5] Aydın, M. D., TEMİZ, Ş., & ÖZEL, A. (2004). Yapısal yapıştırıcıların mekanik özelliklerinin belirlendiği deneysel yöntemler. *Mühendis ve Makina*, 45(536), 18-24.
- [6] Ayaz, Y., Çitil, Ş., & Temiz, Ş. (2014). Çekmeye maruz ara parçalı çift takviyeli yapıştırma bağlantılarında gerilme analizi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17(1).
- [7] Saraç, İ., Adin, H., & Temiz, Ş. (2021). A research on the fatigue strength of the single-lap joint joints bonded with nanoparticle-reinforced adhesive. *Welding in the World*, 65(4), 635-642.
- [8] Sülü, İ. Y., & Temiz, Ş. (2020). Mechanical behavior of composite pipes joined with non-embedded and embedded adhesive layers. *Materials Testing*, 62(12), 1228-1234.
- [9] Jeandrau, J.P., (1991), Analysis and Design Data for Adhesively Bonded Joints. *Int.J.Adhesion and Adhesives*, 11(2), 71-79.
- [10] Aydın, M.D., (2003), Yapıştırıcı ile Birleştirilmiş Tek Tesirli Bindirme Bağlantısının Mekanik Özelliklerinin Deneysel ve Teorik İncelenmesi, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum.
- [11] Solmaz, M.Y., (2008), Yapıştırıcı İle Birleştirilmiş Bağlantıların Mekanik Analiz ve Tasarımları, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [12] Çitil, Ş. (2018). Experimental and numerical investigation of adhesively bonded curved lap joints under three-point bending. *Mechanics*, 24(6), 824-832.
- [13] Temiz, Ş., Özel, A., Aydın, M.D., (2005), The effect of adherend thickness on the failure of adhesively bonded single lap joints, *J Adhes Sci Technol*, Cilt 19, Sayı 8, ss. 705-718.
- [14] Nemes, O., Lachaud F., (2010), Double-lap adhesive bonded-joints assemblies modeling, *International Journal of Adhesion & Adhesives*, 30, pp. 288–297.
- [15] Lee, M. J., Cho, T. M., Kim, W. S., Lee, B. C., & Lee, J. J. (2010). Determination of cohesive parameters for a mixed-mode cohesive zone model. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 30(5), 322-328.
- [16] Yang, C., Huang, H., Tomblin, J. S., & Sun, W. (2004). Elastic-plastic model of adhesive-bonded single-lap composite joints. *Journal of Composite Materials*, 38(4), 293-309.
- [17] Çitil, Ş., Bozkurt, İ., & Aydın, M. D. (2019). Experimental and 3D non-linear stress analysis of adhesively bonded pipes with curved-surface lap joints. *The Journal of Adhesion*, 95(5-7), 515-528.

***Lactobacillus rhamnosus* GG VE *Bifidobacterium bifidum* BB-12 İÇEREN YENİLEBİLİR FİLMLEİN KARAKTERİZASYONU**

Huriye Gözde CEYLAN^{*1}, Ahmet Ferit ATASOY²

¹Adiyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Adiyaman, 02040, Türkiye

²Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa, 63010, Türkiye

Geliş Tarihi/Received Date: 14.02.2022 Kabul Tarihi/Accepted Date: 01.03.2022 DOI: 10.54365/adyumbd.1073615

ÖZET

Bu çalışmada *Lactobacillus rhamnosus* GG ve *Bifidobacterium bifidum* BB-12 içeren sodyum kazeinat esaslı filmler bazı özellikler açısından karakterize edilmiştir. Bu amaçla, sodyum kazeinat esaslı %0 fruktooligosakkarit + %0 inülin, %0 fruktooligosakkarit + %1 inülin ve %1 fruktooligosakkarit + %0 inülin içeren film solüsyonlarına *Lactobacillus rhamnosus* GG ve *Bifidobacterium bifidum* BB-12 ilave edilerek altı adet film üretimi gerçekleştirilmiştir. Filmlerin bazı fizikokimyasal, bariyer ve renk özellikleri ile 4 °C’de depolama boyunca probiyotik organizma stabiliteleri araştırılmıştır. Fruktooligosakkarit ve inülin ilavesinin filmin kalınlığı, suda çözünürlüğü ve rengi üzerinde etkisi önemli bulunmuştur. Test edilen film formülasyonlarında kullanılan probiyotiklerin depolama stabilitelerinin yüksek olduğu belirlenmiş, ancak depolama stabilitesinin fruktooligosakkarit ve inülin ilavesi ile azaldığı tespit edilmiştir. *L. rhamnosus* GG ve *B. bifidum* BB-12 içeren filmlerin tahmini raf ömrü değerleri sırası ile 51-98 ve 68-82 gün aralığında hesaplanmıştır. Çalışma sonuçları, kullanılan film formülasyonlarının *B. bifidum* BB-12 ve *L. rhamnosus* GG için iyi birer taşıyıcı olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Yenilebilir film; *Lactobacillus rhamnosus* GG; *Bifidobacterium bifidum* BB-12; Prebiyotik; İnülin; Fruktooligosakkarit

CHARACTERIZATION OF EDIBLE FILMS CONTAINING *Lactobacillus rhamnosus* GG AND *Bifidobacterium bifidum* BB-12

ABSTRACT

In this study, sodium caseinate films containing *Lactobacillus rhamnosus* GG and *Bifidobacterium bifidum* BB-12 were characterized in terms of some properties. Six films were produced by adding *L. rhamnosus* GG and *B. bifidum* BB-12 to sodium caseinate film solutions containing 0% fructooligosaccharide + 0% inulin, 0% fructooligosaccharide + 1% inulin and 1% fructooligosaccharide + 0% inulin. Physicochemical, barrier, and color properties and the stability of probiotics during storage at 4 °C were investigated. The effect of fructooligosaccharide and inulin on the thickness, water solubility, and color of the film was significant. The storage stability of the probiotics was high, but it decreased with the addition of fructooligosaccharide and inulin. The estimated shelf life of films containing *L. rhamnosus* GG and *B. bifidum* BB-12 were between 51-98 and 68-82 days, respectively. The results showed that the tested film formulations were good carriers for *B. bifidum* BB-12 and *L. rhamnosus* GG.

Keywords: Edible film; *Lactobacillus rhamnosus* GG; *Bifidobacterium bifidum* BB-12; Prebiotic; Inulin; Fructooligosaccharide

1. Giriş

Yenilebilir filmler ve kaplamalar nem, karbondioksit, oksijen, tat ve aroma transferini kontrol ederek gıda maddelerinin raf ömrünü ve kalitesini korumayı amaçlayan materyallerdir [1]. Yenilebilir ambalaj malzemeleri antioksidanlar, renklendiriciler, probiyotikler ve probiyotikler gibi fonksiyonel

*1e-posta : hgyildiz@adiyaman.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7363-554X> (Sorumlu Yazar)

²e-posta : fatasoy@harran.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3390-1177>

bileşenlerin taşıyıcıları olarak kullanılmakta ve biyoaktif ambalaj malzemeleri olarak fonksiyonel gıdaların üretilmesine olanak sağlamaktadırlar [2].

Probiyotik terimi, yeterli sayıda alındığında konakçı üzerinde faydalı etkileri olan canlı mikroorganizmaları tanımlamak için kullanılmaktadır [3]. Gıdanın yapısı, pH, sıcaklık, üretim ve saklama koşulları ve gastrointestinal sistemdeki safra gibi faktörler son ürünlerdeki probiyotik canlılığını etkilemektedir. Bu nedenle, son üründe probiyotik organizma canlılığını artırmak için birçok yenilikçi yaklaşım ortaya çıkmaktadır. Yenilebilir ambalaj malzemeleri probiyotiklerin taşınmasında alternatif bir yöntem olarak kabul edilmekte ve yenilebilir ambalaj formülasyonlarında probiyotiklerin kullanıldığı yayınların sayısı son yıllarda giderek artış göstermektedir [4].

Prebiyotikler, gastrointestinal mikrobiyotada bir veya sınırlı sayıdaki bakterinin gelişmesini veya aktivitesini seçici olarak arttıran, konakçının sağlığı üzerinde fayda sağlayan sindirilemeyen bileşenler olarak tanımlanmaktadır [4]. Probiyotik mikroorganizmalarla birlikte prebiyotikler gibi fonksiyonel bileşenler de gıda endüstrisinde sıklıkla kullanılmaktadır. Nişasta [5], peynir altı suyu proteini [2, 6-7], aljinat [8-9], selüloz [10-11], jelatin [12] gibi farklı polimer esaslı probiyotik yenilebilir film ve kaplama formülasyonlarında prebiyotiklerin kullanıldığı pek çok çalışma mevcuttur. Bu prebiyotik ajanların yenilebilir filmlerde probiyotik organizmaların canlılığını arttırdığı bildirilmiştir [5, 10, 12]. Probiyotik filmlerin kabul edilebilirliğini probiyotik organizma stabilitesi ve film özelliklerinin kombinasyonu belirlemektedir. Bu nedenle, yenilebilir filmlerde probiyotiklerin prebiyotiklerle kombinasyonunu ilişkilendiren çalışmalar son yıllarda önemli bir çalışma alanını oluşturmaktadır. Bilgimiz dahilinde, sodyum kazeinat esaslı probiyotik filmlerde fruktooligosakkarit (FOS) ve inulin (IN) kullanılan bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada sodyum kazeinat esaslı %0 FOS + %0 IN, %0 FOS + %1 IN ve %1 FOS + %0 IN içeren film formülasyonlarına *B. bifidum* BB-12 ve *L. rhamnosus* GG ilave edilerek üretilen yenilebilir filmlerde bazı özellikler ve probiyotik organizmaların stabilitesi incelenmiştir.

2. Materyal ve Metod

2.1. Materyal

Sodyum kazeinat ve IN Kimbiotek A.Ş.'den (İstanbul), FOS Sinerji Gıda Kimya Tekstil San. ve Tic. A.Ş.'den (İstanbul) ve gliserol Sigma-Aldrich'ten (Stenheim, Almanya) tedarik edilmiştir. *Lactobacillus rhamnosus* GG ve *Bifidobacterium bifidum* BB-12 liyofilize kültürleri Chr. Hansen A/Ş'den (İstanbul) temin edilmiştir. Sodyum klorür, fosfat tamponlu tuzlu su (PBS), gliserol, L-sistein-HCl, de Man-Rogosa-Sharpe (MRS) agar ve broth Merck'ten tedarik edilmiştir.

2.2. Metod

2.2.1. Probiyotik kültürlerin hazırlanması, çoğaltılması ve ayrılması

0.1 g *L. rhamnosus* GG ve *B. Bifidum* BB-12 liyofilize kültürleri sırası ile 10 mL steril MRS ve %0.05 (a/h) oranında sistein içeren MRS broth'a aktarılarak 37 °C'de 16-18 saat inkübasyona bırakılmıştır. Elde edilen taze kültürler 1000 mL steril MRS broth içine aşılansak anaerobik koşullarda 37 °C'de 24 saat inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonunda 50 mL'lik hacimlerde steril tüplere aktarılan kültürler 3000 g ve 4 °C'de 5 dakika santrifüj edildikten sonra 5 mL PBS ile yıkanmıştır. Bu işlem 2 kez tekrarlanmıştır [13]. Her bir film çözeltisine toplam 150 mL besiyerden elde edilen pelletler aktarılmıştır.

2.2.2. Film çözeltisinin hazırlanması ve film üretimi

Film çözeltileri %5 (a/h) sodyum kazeinat ve toplam katı madde miktarının %30'u oranında gliserol (a/a) içerecek şekilde hazırlanmıştır. Polimer, gliserol ve prebiyotikler ile hazırlanan çözelti

manyetik karıştırıcıda sabit hızda 1 saat karıştırılmış ve ardından su banyosunda 90 °C'de 30 dakika ısıtılma işlemine tabi tutulmuştur. UV altında 40 °C'ye kadar soğutulan film çözeltisine probiyotik pelletler (9 log kob/mL) ilave edilmiştir. Pelletlerin tamamen çözünmesi için film çözeltisi 20 dakika manyetik karıştırıcıda homojenize edilmiştir. Homojenizasyon sonunda aseptik koşullarda 8.5 mL film solüsyonu, 8.5 cm çaplı steril petrilere dökülerek oda sıcaklığında steril kabin içerisinde 16 saat kurumaya bırakılmıştır [14].

Çalışmada %0 FOS + %0 IN + *B. bifidum* BB-12, %0 FOS + %1 IN + *B. bifidum* BB-12, %1 FOS + %0 IN + *B. bifidum* BB-12, %0 FOS + %0 IN + *L. rhamnosus* GG, %0 FOS + %1 IN + *L. rhamnosus* GG, %1 FOS + %0 IN + *L. rhamnosus* GG içeren olmak üzere altı adet örnek grubu elde edilmiştir. Elde edilen filmler steril pens ile soyulmuş ve steril kilitli poşetler içinde muhafaza edilmiştir. Probiyotik organizma canlılığının tespit edileceği örnekler 4 °C'de 90 gün muhafaza edilmiş ve depolamanın 0., 7., 15., 45., 60. ve 90. günlerinde analizler gerçekleştirilmiştir. Fizikokimyasal analizler için örnekler %53 ± 2 bağıl nem ve 25 ± 2 °C sıcaklıkta 48 saat şartlandırma işleminin ardından analize tabi tutulmuştur. Tüm analizler 3 paralel olacak şekilde gerçekleştirilmiştir.

2.2.3. Filmlerin fizikokimyasal, bariyer ve renk özellikleri

Filmlerin kalınlıkları 0.001 hassasiyet ile dijital bir mikrometre (Insize, 3108-25A, Germany) yardımıyla tespit edilmiştir. Bu amaçla rastgele seçilen 3 örnekte en az 6 noktadan ölçüm alınmış ve ortalama film kalınlığı hesaplanmıştır.

Suda çözünürlüğün tespiti için 105 °C'de 12 saat kurutulmuş sabit tartıma getirilen film örnekleri distile su içinde manyetik karıştırıcı ile 3 dakika karıştırılmıştır. Ardından film yeniden sabit tartıma ulaşmaya kadar 105 °C'de kurutulmuş ve son ağırlığı kaydedilmiştir. Kuru filmin çözünme öncesi ve sonrası ağırlık farkı suda çözünen madde olarak kuru filmin başlangıç ağırlığı üzerinden % olarak hesaplanmıştır [15].

Filmlerin su buharı geçirgenliği (SBG) için özel kaplar içerisine 105 °C'de kurutulmuş silika jel aktarılmış ve kabın ağzı film ile sızdırmayacak şekilde kaplanmıştır. Ardından, örnekler saf su içeren desikatör içinde 25 °C'lik etüve yerleştirilmiş ve deney kaplarının 1'er saat aralıklar ile 8 saat boyunca zamana karşı ağırlık değişimleri kaydedilmiştir. SBG değerleri ASTM E 96 [16] metodunda verilen formüle göre hesaplanmıştır.

Filmlerin oksijen geçirgenliği (OG) için peroksit sayısı (PS) analizi esas alınmıştır. 25 mL'lik erlen içerisine 10 mL ayçiçek yağı aktarılmış ve erlenin ağzı film örneği ile hava geçirmeyecek şekilde kapatılmıştır. Erlenler 60 °C'de karanlık bir ortamda 10 gün depolanmış ve depolama sonunda ayçiçek yağlarında titrimetrik yöntem ile tespit edilen peroksit sayısı oksijen geçirgenliğinin yorumlanmasında kullanılmıştır [17].

Filmlerde kolorimetre ile (Minolta CR-400, Japonya) CIE Lab renk ölçüm sistemi esas alınarak L*, a*, b* değerleri tespit edilmiştir.

2.2.4. Filmde probiyotik organizma sayımı

L. rhamnosus GG ve *B. bifidum* BB-12 sayımı için sırasıyla 1 g film 99 mL steril peptonlu su ve sodyum klorürü içerisine aktararak 37 °C'lik su banyosunda çözünmeye bırakılmıştır. Çözünme işleminin ardından seri dilüsyonlar hazırlanmıştır. *L. rhamnosus* GG ve *B. bifidum* BB-12 içeren örneklerin uygun dilüsyonları sırası ile MRS ve %0.05 (a/h) sistein içeren MRS agara dökme plak yöntemi ile aktarılmıştır. Probiyotik bakteri sayımları 37 °C'de anaerobik koşullarda 72 saat inkübasyon sonucunda gerçekleştirilmiştir [13].

Probiyotik mikroorganizmaların canlılığında depolama sırasında meydana gelen değişime ilişkin kinetik modelleme Denklem 1'e göre yapılmıştır.

$$\log N_t = \log N_0 - k_T t \quad (1)$$

Burada $\log N_0$; başlangıç probiyotik organizma sayısı (kob/g), $\log N_t$; belirli bir depolama süresindeki probiyotik organizma sayısı (kob/g), t ; depolama süresi (gün), k_T ; T °C sıcaklıkta inaktivasyon oran sabitini (kob/g gün⁻¹) ifade etmektedir. Ayrıca, k_T değeri ile probiyotik canlı sayısının 6 log kob/g değerine düşmesi gereken süre göz önüne alınarak raf ömrü değeri hesaplanmıştır.

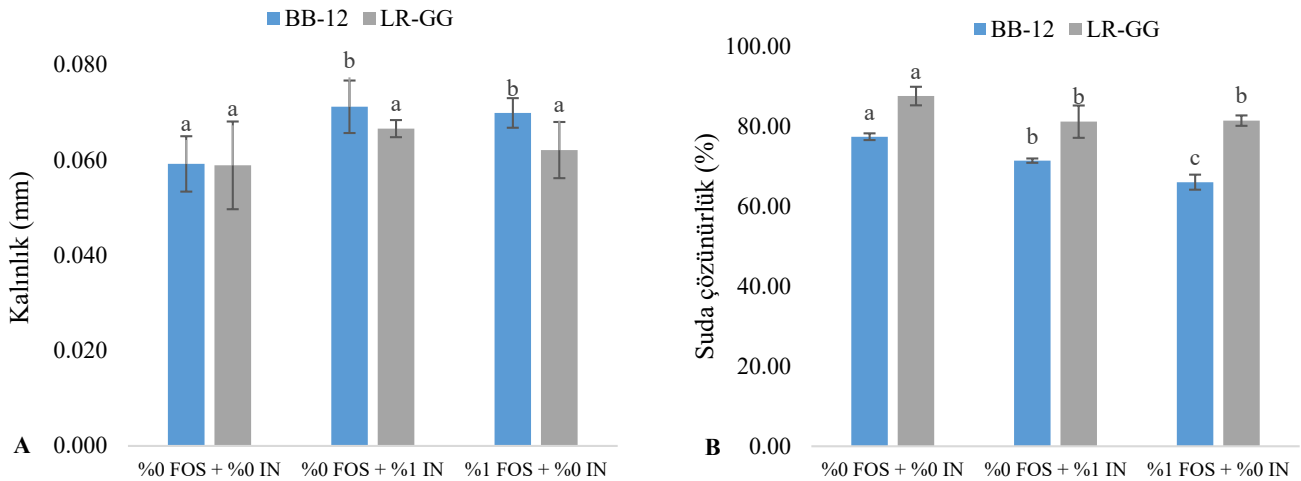
2.2.5. İstatistiksel analiz

Çalışmada elde edilen veriler SPSS yazılımı kullanılarak tek yönlü varyans analizine (ANOVA) tabi tutulmuştur. Örnekler arasındaki farklılıklar %95 güven sınırında Duncan çoklu karşılaştırma testi kullanılarak belirlenmiştir.

3. Sonuç ve Tartışma

3.1. Filmlerin fizikokimyasal, bariyer ve renk özellikleri

Şekil 1’de film örneklerinin kalınlık (a) ve suda çözünürlük değerleri (b) verilmiştir. Kalınlık filmlerin optik, mekanik ve bariyer özelliklerini etkileyen en önemli parametrelerden biri olup film hazırlama yöntemi ve kuruma koşullarına göre değişiklik göstermektedir [15]. Film formülasyonunda FOS ve IN kullanımı film kalınlığında artışa neden olmuştur. *L. rhamnosus* GG filmlerin kalınlık değerlerinde meydana gelen artış istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ($p>0.05$). Ancak, %1 FOS ve %1 IN içeren *B. bifidum* BB-12 filmlerinin kalınlık değerleri prebiyotik içermeyen filmden önemli ölçüde düşük bulunmuştur ($p<0.05$). Film kalınlık değerlerinde prebiyotik ilavesi ile meydana gelen artış sabit hacimdeki kuru madde artışı ve buna bağlı olarak film matrisinin değişmesine atfedilmektedir [18]. Soukoulis ve ark. [12] *L. rhamnosus* GG içeren filmlerde prebiyotik kullanımının film kalınlığı üzerinde etkisinin önemli olmadığını bildirmiştir. Bir başka çalışmada [18], *L. plantarum* içeren karboksimetilselüloz esaslı filmlerde IN kullanımının film kalınlığını önemli ölçüde etkilediği rapor edilmiştir.

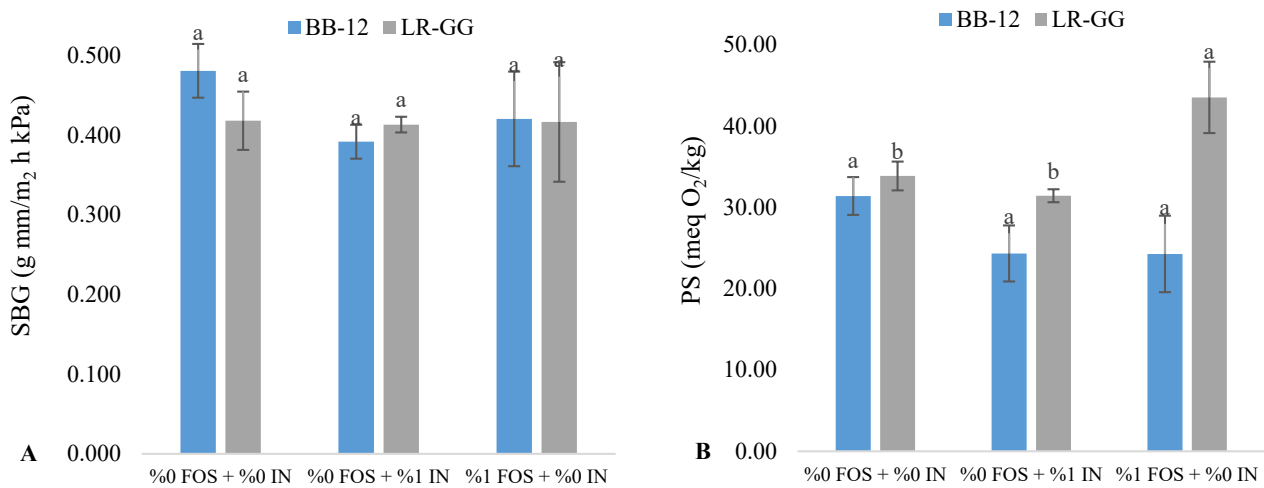


Değerler ortalama \pm standart sapma olacak şekilde verilmiştir. FOS: fruktooligosakkarit, IN: inülin. Farklı küçük harfler aynı örnek grubunda istatistiksel olarak anlamlı farklılığı ($p<0.05$) ifade etmektedir.

Şekil 1. *B. bifidum* BB-12 ve *L. rhamnosus* GG içeren filmlerin kalınlık (A) ve suda çözünürlük değerleri (B)

Suda çözünürlük (SÇ) yenilebilir filmlerin gıda ve ilaç endüstrilerinde kullanımını belirleyen önemli özelliklerden biridir. SÇ filmlerin kimyasal yapısına bağlıdır ve filmin sudaki kararlılığını göstermektedir [19]. *B. bifidum* BB-12 ve *L. rhamnosus* GG içeren filmlerin SÇ değerlerinin FOS ve IN bulunması halinde, prebiyotik içermeyen örneklerle kıyasla önemli ölçüde azaldığı tespit edilmiştir ($p<0.05$). Öte yandan, farklı polimer esaslı filmlerde FOS ve IN ilavesinin filmlerin SÇ değerlerini önemli düzeyde etkilemediği rapor edilmiştir [6-7]. Örneklerimizde kalınlık değerlerinde meydana gelen artış göz önüne alındığında, suda çözünürlükteki azalmanın film kalınlığındaki artış ile ilişkili olabileceği düşünülmektedir.

Film örneklerinin su buharı geçirgenliği (SBG) ve oksijen geçirgenliğinin yorumlanması için kullanılan peroksit sayısı (PS) değerleri Şekil 2’de verilmiştir. *L. rhamnosus* GG içeren filmlerin SBG değerlerinin prebiyotik ilavesi ile azaldığı tespit edilmiştir. Ancak, bu azalma istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ($p>0.05$). Benzer şekilde, *B. bifidum* BB-12 içeren filmlerin SBG değerleri üzerinde formülasyona ilave edilen prebiyotik ajanların etkisinin önemli olmadığı belirlenmiştir ($p>0.05$). Bizim bulgularımızın aksine, film formülasyonunda prebiyotik ajanların kullanıldığı bazı araştırmalarda [20-21] prebiyotik ilavesi ile SBG değerlerinin azaldığı belirtilmiştir.



Değerler ortalama \pm standart sapma olarak verilmiştir. FOS: fruktooligosakkarit, IN: inülin. Farklı küçük harfler aynı örnek grubunda istatistiksel olarak anlamlı farklılığı ($p<0.05$) ifade etmektedir.

Şekil 2. *B. bifidum* BB-12 ve *L. rhamnosus* GG içeren filmlerin SBG (A) ve PS (B) değerleri

Araştırma bulgularımız dikkate alındığında, film örneklerinin su buharı geçirgenliğinin yüksek olduğu görülmektedir. Bu durumun nedenleri arasında kullanılan sodyum kazeinatın kazein fraksiyonları oranları ve prebiyotiklerin higroskopik yapısı düşünülebilir. Hidrofilik özellikleri nedeniyle süt proteinleri esaslı yenilebilir filmlerin zayıf nem bariyeri özelliklerine sahip olduğu bildirilmektedir [21-22]. Bununla birlikte, prebiyotiklerin higroskopik yapısı sebebiyle filmin su moleküllerine olan ilgisinin artmasının polimerik matris boyunca su buharı difüzyonunu arttırdığı rapor edilmiştir [5].

%0 FOS + %0 IN, %0 FOS + %1 IN, %1 FOS + %0 IN içeren *B. bifidum* BB-12 filmlerin PS değerleri sırası ile 31.40, 24.33 ve 24.27 meq O₂/kg olarak belirlenmiştir. *L. rhamnosus* GG ve %0 FOS + %0 IN, %0 FOS + %1 IN, %1 FOS + %0 IN formülasyonları ile hazırlanan filmlerin PS değerleri ise sırası ile 33.87, 31.43 ve 43.53 meq O₂/kg olarak tespit edilmiştir. Filmlerin PS değerleri, tüm örneklerin oksijen bariyer özelliği gösterdiğini ve yağ oksidasyonunu azalttığını ortaya koymaktadır. Örneklerin PS değerleri üzerinde *B. bifidum* BB-12 filmlerde FOS ve IN etkisi önemli bulunmazken ($p>0.05$), *L. rhamnosus* GG filmlerde %1 FOS ilavesinin etkisi önemli bulunmuştur ($p<0.05$).

Film bileşenlerinin polimer yapısı, film kalınlığı, plastikleştirici türü, yapısal konformasyonu ve uyumluluğu gibi özelliklerin filmlerin optik özelliklerini değiştirdiği bilinmektedir [19]. *B. bifidum* BB-12 ve *L. rhamnosus* GG filmlerin L^* , a^* ve b^* değerleri Çizelge 1’de verilmiştir. Her iki örnek grubunda tespit edilen yüksek L^* değerleri, filmlerin şeffaf ve berrak özelliklere sahip olduğunu göstermektedir [6-7]. Yenilebilir filmlerin hazırlanmasında sıklıkla tercih edilen sodyum kazeinatın şeffaf film eldesine imkân sağladığı bilinmektedir [23]. Ayrıca, a^* ve b^* değerlerinin sıfıra yakın olması güçlü renk tonlarının olmadığını göstermektedir [5].

Formülasyona FOS ve IN ilavesinin film parlaklığında önemli bir değişime neden olmadığı saptanmıştır ($p>0.05$). Benzer şekilde, Orozco-Parra ve ark. [5] tarafından *L. casei* içeren nişasta esaslı filmlerde IN ilavesinin film parlaklığını etkilemediği ifade edilmiştir. Bir başka çalışmada [7], peynir altı suyu protein izolatu ve aljinat esaslı probiyotik filmlerde IN ve FOS ilavesinin film parlaklığı üzerinde önemli bir değişime neden olmadığı bildirilmiştir.

Çizelge 1. *B. bifidum* BB-12 ve *L. rhamnosus* GG filmlerin L^* , a^* ve b^* değerleri

| Film | L^* | a^* | b^* |
|--|-------------------------|------------------------|--------------------------|
| <i>B. bifidum</i> BB-12 filmler | | | |
| %0 FOS + %0 IN | 88.96±0.40 ^a | 0.24±0.03 ^b | 0.64±0.28 ^a |
| %0 FOS + %1 IN | 89.01±0.41 ^a | 0.25±0.02 ^b | 1.02±0.02 ^a |
| %1 FOS + %0 IN | 89.12±0.51 ^a | 0.45±0.08 ^a | 0.55±0.36 ^a |
| <i>L. rhamnosus</i> GG filmler | | | |
| %0 FOS + %0 IN | 91.82±0.14 ^a | 0.94±0.05 ^a | -0.24±0.07 ^{ab} |
| %0 FOS + %1 IN | 91.75±0.40 ^a | 0.62±0.03 ^c | -0.11±0.07 ^a |
| %1 FOS + %0 IN | 91.71±0.09 ^a | 0.85±0.02 ^b | -0.53±0.24 ^b |

^{a-c}Satırlar arasındaki farklı harfler istatistiksel olarak anlamlı farklılığı ($p<0.05$) ifade etmektedir. Değerler ortalama ± standart sapma olacak şekilde verilmiştir. FOS: fruktooligosakkarit, IN: inülin.

B. bifidum BB-12 filmlerin b^* değerleri arasında önemli fark tespit edilmezken ($p>0.05$), *L. rhamnosus* GG filmlerin b^* değerleri arasındaki fark önemli ($p<0.05$) bulunmuştur. Ayrıca, her iki örnek grubunda, filmlerin a^* değerleri üzerinde film formülasyonunun istatistiksel olarak önemli bir değişime ($p<0.05$) neden olduğu tespit edilmiştir. %1 FOS + %0 IN içeren *B. bifidum* BB-12 filmde a^* değeri diğer filmlere kıyasla yüksek bulunmuştur ($p<0.05$). *L. rhamnosus* GG filmlerde ise prebiyotik kullanımı ile a^* değerinin azaldığı tespit edilmiştir.

Film kalınlığının optik özellikler üzerinde etkili olduğu bilinmektedir [24]. Bu nedenle, %1 FOS + %0 IN içeren *B. bifidum* BB-12 filmlerin a^* değerinde meydana gelen artış %1 FOS içeren film kalınlığının artışı ile ilişkilendirilebilir. *L. rhamnosus* GG içeren filmlerde a^* değerinde görülen azalmanın ise prebiyotik tipi ve formülasyonda yer alan bileşenlerin uyumluluğu ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Orozco-Parra ve ark. [5] tarafından farklı konsantrasyonlarda IN içeren probiyotik filmlerin a^* ve b^* değerleri üzerinde IN ilavesinin etkili bulunmadığı rapor edilmiştir.

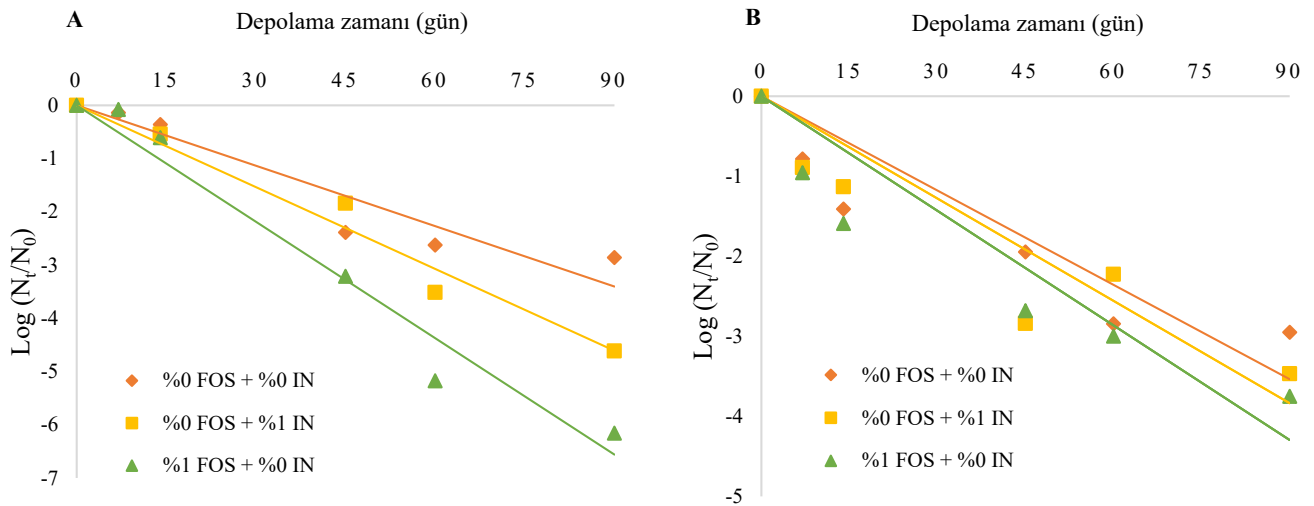
3.2. Filmlerde depolama boyunca probiyotik organizma canlılığı

Depolama periyodu boyunca *B. bifidum* BB-12 ve *L. rhamnosus* GG’ye ait inaktivasyon eğrileri Şekil 3’te gösterilmiştir. Ayrıca, probiyotiklerin inaktivasyon oranları ve filmlerin raf ömrü değerleri Çizelge 2’de verilmiştir. Film solüsyonunun kurutulması sonrası film örneklerinde probiyotik organizma sayıları 9 ile 10 log kob/g aralığında tespit edilmiştir (Veriler gösterilmedi). *B. bifidum* BB-12 ve *L. rhamnosus* GG’nin inaktivasyon oranı üzerinde film formülasyonuna prebiyotik ilavesi önemli ($p<0.05$) bulunmuştur. Beklenenin aksine, %1 FOS ilavesi *B. bifidum* BB-12 ve *L. rhamnosus* GG’nin inaktivasyon hızında prebiyotik içermeyen örneğe kıyasla önemli ($p<0.05$) bir artışa neden olmuştur.

%1 IN ilavesi *B. bifidum* BB-12 inaktivasyon hızının artmasına neden olmuş ($p<0.05$), ancak *L. rhamnosus* GG'nin inaktivasyon hızında önemli bir farka yol açmamıştır ($p>0.05$).

Prebiyotik ajanların yenilebilir probiyotik filmlerde depolama stabilitesini arttırdığı pek çok çalışmada [5, 7, 12] bildirilmiştir. Ancak, bakteriyel selüloz ve kaju gamı esaslı yenilebilir film formülasyonunda probiyotik ve FOS etkisinin incelendiği çalışmada, test edilen sıcaklıklarda FOS ilavesinin depolama stabilitesini önemli ölçüde arttırmadığı ifade edilmiştir [10]. Aynı çalışmada, FOS'un depolama üzerinde belirgin etkisinin olmaması, probiyotiğin FOS içermeyen filmdeki stabilitesinin depolama sırasında oldukça yüksek olması sebebiyle FOS etkisinin tespit edilemeyecek kadar küçük olması ile açıklanmıştır. Benzer şekilde, çalışmamızda test edilen film formülasyonlarında probiyotik organizmaların depolama stabilitesi oldukça yüksek bulunmuştur.

Aynı zamanda, çalışmamızda FOS ve IN ilavesinin probiyotiklerin depolama stabilitesi üzerinde beklenen etkiyi göstermemesi film yoğunluğu ile açıklanabilir. Film kalınlığının artması daha yüksek yoğunlukta film elde edilmesine sebep olmaktadır. Film yoğunluğunda meydana gelen artış sebebiyle filmin tartılması aşamasında prebiyotik içeren filmlerin daha küçük yüzey alanına sahip parçaları, prebiyotik içermeyen örnek ile aynı ağırlığa karşılık gelmektedir. Bu durumun prebiyotik içeren film örneklerinin birim yüzey alanında daha az sayıda mikroorganizma bulunmasına sebep olabileceği düşünülmektedir.



Şekil 3. Depolama boyunca film örneklerinde *B. bifidum* BB-12 (A) ve *L. rhamnosus* GG'nin (B) inaktivasyon eğrileri

B. bifidum BB-12 filmlerinde raf ömrü değerleri %0 FOS + %0 IN, %0 FOS + %1 IN ve %1 FOS + %0 IN içeren film örnekleri için sırası ile 98, 70 ve 51 gün olarak hesaplanmıştır. *L. rhamnosus* GG içeren %0 FOS + %0 IN, %0 FOS + %1 IN ve %1 FOS + %0 IN film örneklerinin raf ömrü değerleri ise sırası ile 82, 73 ve 68 gün bulunmuştur. %1 FOS veya IN ilavesinin film örneklerinin raf ömrü süresinde önemli bir farka ($p<0.05$) yol açtığı saptanmıştır. Soukoulis ve ark. [12] tarafından 4 °C'de depolanan jelatin esaslı *L. rhamnosus* GG içeren filmlerin raf ömrü değerleri sırasıyla 63 ile 100 gün arasında bulunmuştur. Phovisay ve ark. [25] 4 °C'de depolanan jelatin esaslı *L. casei* içeren filmlerin raf ömrü değerlerinin 67 ile 130 gün arasında olduğunu bildirmişlerdir. Bir başka çalışmada [5], *L. casei* içeren tapyoka nişastası esaslı filmlerde 10 °C'de depolama boyunca %0 ve %0.5 IN içeren örneklerin inaktivasyon oranları sırası ile 0.181 ve 0.164 kob/g gün⁻¹ olarak belirlenmiştir.

Çizelge 2. Depolama boyunca probiyotiklerin inaktivasyon oranları ve filmlerin tahmini raf ömrü değerleri

| Film | İnaktivasyon Oranı (R ²) (kob/g gün ⁻¹) | Tahmini Raf Ömrü (gün) |
|--------------------------------|--|---------------------------|
| <i>B. bifidum</i> BB-12 | | |
| %0 FOS + %0 IN | 0.086±0.001 ^c (0.892) | 98±0.57 ^a |
| %0 FOS +%1 IN | 0.120±0.003 ^b (0.958) | 70±0.62 ^b |
| %1 FOS + %0 IN | 0.167±0.003 ^a (0.967) | 51±0.73 ^c |
| <i>L. rhamnosus</i> GG | | |
| %0 FOS + %0 IN | 0.091±0.005 ^b (0.750) | 82±1.03 ^a |
| %0 FOS +%1 IN | 0.099±0.004 ^b (0.789) | 73±1.51 ^b |
| %1 FOS + %0 IN | 0.111±0.003 ^a (0.807) | 68±1.11 ^c |

^{a-c}Satırlar arasındaki farklı harfler istatistiksel olarak anlamlı farklılığı (p<0.05) ifade etmektedir. Tahmini raf ömrü, probiyotik canlı bakteri sayısının 6 log kob/g değerine düşmesi için gereken süreyi ifade etmektedir.

Film örneklerinde test edilen probiyotiklerin depolama stabiliteilerinin yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum, kullanılan formülasyonların *B. bifidum* BB-12 ve *L. rhamnosus* GG için iyi birer taşıyıcı olduğunu göstermektedir. Protein esaslı sodyum kazeinat kullanımının probiyotiklerin depolama stabilitesi üzerinde etkili olduğu düşünülmektedir. Sodyum kazeinat esaslı filmlerde bakteri canlılığı için gerekli besin elementlerinin varlığının hücre stabilitesi üzerinde etkili olduğu söylenebilir. Bazı polisakkarit esaslı filmlere kıyasla protein esaslı filmlerde bakteri canlılığının daha yüksek olduğu bildirilmiştir [26-27]. Ayrıca, *B. bifidum* BB-12'nin *L. rhamnosus* GG'a kıyasla daha uzun süre canlı kaldığı görülmektedir. Bu durumun, polimer olarak kullanılan sodyum kazeinat içeriğinde bulunan aminoasitlerin bifidojenik faktör etkileri ile ilişkili olduğu düşünülmektedir [28].

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, *B. bifidum* BB-12 ve *L. rhamnosus* GG içeren sodyum kazeinat esaslı yenilebilir filmlerin hazırlanmasında %1 oranında FOS ve IN kullanılmıştır. Elde edilen filmler bazı fizikokimyasal, bariyer ve renk özellikleri açısından incelenmiştir. Ayrıca, 4 °C'de depolama sırasında probiyotik canlılığı araştırılmıştır. Test edilen filmlerin kalınlık, suda çözünürlük ve renk özellikleri farklı bulunmuştur. Ancak, filmlerin genel olarak benzer bariyer özelliklerine sahip olduğu tespit edilmiştir. *B. bifidum* BB-12 ve *L. rhamnosus* GG filmlerin tahmini raf ömrü değerleri sırası ile 51-98 ve 68-82 gün aralığında hesaplanmıştır. Beklenenin aksine, FOS ve IN probiyotiklerin depolama stabilitesi üzerinde koruyucu bir etki göstermemiştir.

FOS ve IN ilavesi *B. bifidum* BB-12 ve *L. rhamnosus* GG içeren sodyum kazeinat esaslı filmlerde depolama stabilitesi açısından istenilen etkiyi göstermemesine rağmen test edilen filmlerin raf ömrü değerleri oldukça yüksek bulunmuştur. Bu nedenle, mevcut çalışmada kullanılan yenilebilir film formülasyonlarının probiyotik içeren yenilebilir ambalaj teknolojisinde alternatif olarak kullanılabilmesi düşünülmektedir. Ayrıca, yenilebilir filmlerde probiyotiklerin depolama stabilitesi üzerinde probiyotiklerin etkilerinin daha iyi incelenebilmesi için film yoğunluklarının tespit edilmesi veya canlı hücre sayısının kuru madde içeriği üzerinden hesaplanması gerektiği düşünülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma; Harran Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi birimi tarafından HÜBAK 19021 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir kurum, kuruluş, kişi ile kişisel ve finansal çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedirler.

Kaynaklar

- [1] Sothornvit R, Krochta JM. Plasticizers in edible films and coatings. In: Innovations in Food Packaging Academic Press; 2005.
- [2] Pereira JO, Soares J, Sousa S, Madureira AR, Gomes A, Pintado M. Edible films as carrier for lactic acid bacteria. *LWT* 2016;73:543–550.
- [3] FAO/WHO. Probiotics in food: Health and nutritional properties and guidelines for evaluation. In: Food and Nutrition Paper; 2006.
- [4] Espitia PJP, Batista RA, Azeredo HMC, Otoni, CG. Probiotics and their potential applications in active edible films and coatings. *Food Research International* 2016;90:42–52.
- [5] Orozco-Parra J, Mejía CM, Villa CC. Development of a bioactive synbiotic edible film based on cassava starch, inulin, and *Lactobacillus casei*. *Food Hydrocolloids*; 2020:104,105754.
- [6] La Storia A, Di Giuseppe FA, Volpe S, Oliviero V, Villani F, Torrieri E. Physical properties and antimicrobial activity of bioactive film based on whey protein and *Lactobacillus curvatus* 54M16 producer of bacteriocins. *Food Hydrocolloids*;2020:108.
- [7] Pereira JO, Soares J, Costa E, Silva S, Gomes A, Pintado M. Characterization of edible films based on alginate or whey protein incorporated with *Bifidobacterium animalis* subsp. *lactis* BB-12 and prebiotics. *Coatings* 2019;9(8).
- [8] Bambace MF, Alvarez MV, del Rosario Moreira M. Novel functional blueberries: Fructo-oligosaccharides and probiotic lactobacilli incorporated into alginate edible coatings. *Food Research International* 2019;122:653–660.
- [9] Rodrigues FJ, Cedran MF, Garcia S. Influence of linseed mucilage incorporated into an alginate-base edible coating containing probiotic bacteria on shelf-life of fresh-cut yacon (*Smallanthus sonchifolius*). *Food and Bioprocess Technology* 2018;11(8):1605–1614.
- [10] Oliveira-Alcântara AV, Abreu AAS, Gonçalves C, Fuciños P, Cerqueira MA, Gama FMP, Pastrana LM, Rodrigues S, Azeredo HMC. Bacterial cellulose/cashew gum films as probiotic carriers. *LWT* 2020;130.
- [11] Romano N, Tavera-Quiroz MJ, Bertola N, Mobili P, Pinotti A, Gómez-Zavaglia A. Edible methylcellulose-based films containing fructo-oligosaccharides as vehicles for lactic acid bacteria. *Food Research International* 2014;64:560–566.
- [12] Soukoulis C, Behboudi-Jobbehdar S, Yonekura L, Parmenter C, Fisk ID. Stability of *Lactobacillus rhamnosus* GG in prebiotic edible films. *Food Chemistry* 2014;159:302–308.
- [13] Ebrahimi B, Mohammadi R, Rouhi M, Mortazavian AM, Shojae-Aliabadi S, Koushki MR. Survival of probiotic bacteria in carboxymethyl cellulose-based edible film and assessment of quality parameters. *LWT* 2018;87:54–60.
- [14] Soukoulis C, Behboudi-Jobbehdar S, Macnaughtan W, Parmenter C, Fisk ID. Stability of *Lactobacillus rhamnosus* GG incorporated in edible films: Impact of anionic biopolymers and whey protein concentrate. *Food hydrocolloids* 2017;70:345-355.
- [15] Kanmani P, Lim ST. Development and characterization of novel probiotic-residing pullulan/starch edible films. *Food Chemistry* 2013;141(2):1041–1049.
- [16] ASTM. Standard test methods for water vapor transmission of materials. American Society for Testing and Materials, E 96/E 96M; 1995.
- [17] Kurt A, Kahyaoglu T. Characterization of a new biodegradable edible film made from salep glucomannan. *Carbohydrate Polymers* 2014;104(1):50–58.
- [18] Zabihollahi N, Alizadeh A, Almasi H, Hanifian S, Hamishekar H. Development and characterization of carboxymethyl cellulose based probiotic nanocomposite film containing cellulose nanofiber and inulin for chicken fillet shelf life extension. *International Journal of Biological Macromolecules* 2020;160:409–417.
- [19] Shahrapour D, Khomeiri M, Razavi SMA, Kashiri M. Development and characterization of alginate/pectin edible films containing *Lactobacillus plantarum* KMC 45. *LWT* 2020;118: 108758.
- [20] Bersaneti GT, Mantovan J, Magri A, Mali S, Celligoi MAPC. Edible films based on cassava starch and fructooligosaccharides produced by *Bacillus subtilis natto* CCT 7712. *Carbohydrate Polymers* 2016;151:1132–1138.

- [21] Fernandes LM, Guimarães JT, Silva R, Rocha RS, Coutinho NM, Balthazar CF, Calvalcanti RN, Piler CW, Pimentel TC, Neto RPC, Tavares MIB, Esmerino EA, Freitas MQ, Silva MC, Cruz AG. Whey protein films added with galactooligosaccharide and xylooligosaccharide. *Food Hydrocolloids* 2020;104:105755.
- [22] McHugh TH, Krochta JM. Milk protein based edible film and coating. *Food Technology* 1994;48(1):97–103.
- [23] Caprioli I, O’Sullivan M, Monahan FJ. Use of sodium caseinate/glycerol edible films to reduce lipid oxidation in sliced turkey meat. *European Food Research and Technology* 2009;228(3):433–440.
- [24] Piermaria J, Diosma G, Aquino C, Garrote G, Abraham A. Edible kefiran films as vehicle for probiotic microorganisms. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 2015;32:193–199.
- [25] Phovisay S, Siriwoharn T, Surawang S. (2018). Effect of drying process and storage temperature on probiotic *Lactobacillus casei* in edible films containing prebiotics. *Food and Applied Bioscience Journal* 2018;6(Special):105-116.
- [26] Sánchez-González L, Saavedra JIQ, Chiralt A. (2013). Physical properties and antilisterial activity of bioactive edible films containing *Lactobacillus plantarum*. *Food Hydrocolloids* 2013;33(1):92–98.
- [27] Sánchez-González L, Saavedra JIQ, Chiralt A. (2014). Antilisterial and physical properties of biopolymer films containing lactic acid bacteria. *Food Control* 2014;35(1):200–206.
- [28] Modler HW. (1994). Bifidogenic factors—sources, metabolism and applications. *International Dairy Journal* 1994;4(5):383–407.

RECURRENT NEURAL NETWORK BASED MODEL DEVELOPMENT FOR WHEAT YIELD FORECASTING

Halit ÇETİNER^{1*}, Burhan KARA²

¹Isparta University of Applied Sciences, Vocational School of Technical Sciences, Isparta, Turkey

²Isparta University of Applied Sciences, Agriculture Faculty, Department of Field Crops, Isparta, Turkey

Geliş Tarihi/Received Date: 17.02.2022 Kabul Tarihi/Accepted Date: 11.04.2022 DOI: 10.54365/adyumbd.1075265

ABSTRACT

In the study carried out in line with the stated purposes, monthly rain, humidity and temperature data, wheat production amount, and wheat productivity data of Konya province between 1980-2020 were used. Using these data, wheat productivity estimation was performed with (Gated Recurrent Units) GRU and Long Short Term Memory (LSTM) methods, which are Recurrent Neural Network (RNN) based algorithms. When wheat productivity estimation performance was examined with the implemented GRU-based model, 0.9550, 0.0059, 0.0280, 0.0623, 7.45 values were obtained for the R² score, MSE, RMSE, MAE and MAPE values, respectively. In the performance results obtained with the LSTM method, which is another RNN-based method, 0.9667, 0.0054, 0.0280, 0.0614, 7.33 values were obtained for the R² score, MSE, RMSE, MAE and MAPE values, respectively. Although the LSTM method gave better results than the GRU method, the training modelling time of the LSTM method took longer than that of the GRU method.

Keywords: *Wheat yield, wheat production, GRU, LSTM, regression analysis*

BUĞDAY VERİM TAHMİNİ İÇİN YENİLEMELİ SİNİR AĞI TABANLI MODEL GELİŞTİRME

ÖZET

Bu çalışmada 1980-2020 yılları arasında Konya ilinin aylık yağış, nem ve sıcaklık verileri, buğday üretim miktarı ve buğday verimlilik verileri kullanılmıştır. Bu veriler kullanılarak Recurrent Neural Network (RNN) tabanlı algoritmalar olan (Gated Recurrent Units) GRU ve Long Short Term Memory (LSTM) yöntemleri ile buğday verimlilik tahmini yapılmıştır. Gerçekleştirilen GRU tabanlı model ile buğday verimliliği tahmin performansları incelendiğinde R² puan, MSE, RMSE, MAE ve MAPE değerleri için sırasıyla 0.9550, 0.0059, 0.0280, 0.0623, 7.45 değerleri elde edilmiştir. RNN tabanlı bir diğer yöntem olan LSTM yöntemiyle elde edilen performans sonuçlarında ise R² puan, MSE, RMSE, MAE ve MAPE değerleri için sırasıyla 0.9667, 0.0054, 0.0280, 0.0614, 7.33 değerleri elde edilmiştir. LSTM yöntemi, GRU yönteminden daha iyi sonuçlar vermesine rağmen LSTM yönteminin eğitim modelleme süresi GRU yönteminden daha fazla sürmüştür.

Anahtar Kelimeler: *Buğday verimi, buğday üretimi, GRU, LSTM, regresyon analizi*

1. Introduction

Agriculture is one of the most important areas in the development of countries around the world. The agricultural sector directly affects nutrition and food statistics in the world beyond development.

* e-posta¹ : halitcetiner@isparta.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7794-2555> (Sorumlu Yazar)

e-posta² : burhankara@isparta.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4207-0539>

Continuous and regular crop production is a major challenge for agricultural farmers. Achieving standard crop production is not possible due to changing weather, water, and soil conditions. Many factors affect crop production in a wide range, such as the type of land desired to be cultivated, the harsh or hot climate of planting. For the reasons stated, researchers around the world are trying to find methods that can accurately predict farmers' crop productivity by overcoming the stated challenges [1–3].

There has been a great increase in food insecurity worldwide since 2015 [4]. Cao et al., Dodds and Bartram, Gorelick et al. estimate that two billion people will be added to the current food-supplied population in about three decades [3, 5]. In this situation, it is expected that the demand for food will double compared to today [6]. Approximately 40% of the world's population lives on wheat. To meet the food needs of the growing population in Turkey, as in the world, the production of the 6.43 million hectares of winter wheat production area should be planned so as to maintain wheat productivity [7]. However, due to various reasons, wheat cultivation in the world has stopped in agricultural areas. In this situation, wheat producers and consumers are believed to have difficulties meeting the increasing demand [8]. It has been determined that the wheat yields of different countries have stopped for many years [9]. For this reason, accurate and timely estimation of wheat productivity has gained importance to protect the interests of agricultural producers worldwide and to ensure global food security.

In addition to the difficulties mentioned above, there are irregularities in temperature and rainfall distributions due to climate change. Due to these irregularities and uncertainties, agricultural production and food security are affected [10, 11]. Taking into account studies that state that the global temperature will increase by 2.5 °C in approximately 30 years, the increase in temperatures is expected to affect semi-arid regions such as Turkey more. The increase in temperature in such regions is believed to reduce crop production [11, 12]. The increase in global temperatures has begun to become more noticeable today [2, 13]. In projection studies carried out to determine the future increase in global warming, it is expected that the temperature in Turkey will increase by 2-3 °C in about 20 years [14]. It is stated that after this increase in temperature, serious risks will occur in crop production, especially wheat, in countries affected by climate change, especially in Turkey [15]. The wheat crop is an important food crop, mainly grown in rainy conditions [16]. According to the information reported by TUIK, there has been a decrease in tons of wheat production, especially in the production of barley, rye and oats [17]. According to the Cline study, it is stated that there will be a decrease in rain rates and an increase in temperature in Turkey in the next 50 years [18]. As a result of the increase in temperature, a yield loss of around 6.0% is expected in the wheat crop, which is deprived of genetic improvement and effective adaptation process [19]. It is determined that there will be a shortening in the duration of the growing season after increasing temperature, as a result of which there will be a decrease in wheat grains and a decrease in yield [20, 21].

In many literature studies, machine learning techniques such as random forest, artificial neural networks, multivariate regression methods have been used. The developed machine learning models take air components and soil conditions as inputs to obtain crop yield. Yield estimation studies in the literature are grouped under two different headings. While yield estimation is performed with machine learning approaches in the first title, it is seen that yield estimations are made with deep learning approaches in the second title. Jeong et al. [22] used the random forest algorithm to estimate yields for wheat, maize, and potato crops. It is stated that the random forest algorithm achieves a better result than the machine learning method called linear regression in wheat, corn and potato crops. Shahhosseini et al. [23] predicted corn yield and nitrate loss using a random forest machine learning algorithm like Jeong et al. [22] in their studies. Jiang et al. [24] have estimated the yield of wheat crop based on climate data with artificial neural network and multilinear methods. As a result of the study, it is stated that the artificial neural network model outperforms the multiple linear regression method in the prediction of wheat yield in the northern China region. It is reported that deep learning methods with layers with different properties perform well compared to artificial neural network models with a single hidden layer used in yield estimation [25]. In the literature, it is emphasized that the layers that do not use hand-made features in the deep learning models used in yield estimation contribute to higher accuracy. Deep learning methods have learning methods that will increase the level of representation of a raw input [26].

In the estimation of crop yield, which is extremely difficult, problems can arise due to crop genotype and environmental factors. To overcome the stated difficulties, a study based on CNN and RNN yield estimation is presented in the literature [25]. In this study, yield estimation was carried out using data from corn and soybeans in 2016, 2017 and 2018 in the United States. You et al. [27] developed a soybean yield prediction model based on CNN and RNN. Khaki and Wang [28] developed a model based on data from 2008 to 2016 to estimate corn yields. It is reported that the model gives better results than classical machine learning methods such as regression tree. Kim et al. [29] developed a deep neural network model for crop yield prediction using a meteorological dataset from 2006 to 2015. Tian et al. [30] developed an LSTM model using meteorological data from the People's Republic of China. With the model they developed, they estimate the wheat yield. The model they propose gives a better result than the SVM method, which is one of the classical machine learning methods.

Due to various reasons such as global warming, irregularity in rainfall, population growth, it has been decided to support the crop production planning of farmers living around the world. For this purpose, the main contributions of the study carried out for an accurate and timely estimation of wheat productivity in effective production planning that will support global food security are listed below.

- Data normalization was applied to evaluate the monthly rain, humidity and temperature data, wheat production amount, and wheat productivity data of Konya province between 1980-2020 accurately and quickly.
- Two different deep learning models based on LSTM and GRU have been developed to accurately analyse the wheat yield estimation with normalized data.
- The R^2 score, MSE, RMSE, MAE, and MAPE measurement metrics are presented comparatively to evaluate the performance of two different models proposed in the estimation of wheat yield.
- When the measurement metrics were compared, in the test processes, 0.9667, 0.0054, 0.0280, 0.0614, 7.33 and 0.9550, 0.0059, 0.0280, 0.0623, 7.45 R^2 scores, MSE, RMSE, MAE and MAPE measurement metrics were obtained in the LSTM and GRU models, respectively.

The sections after this step of the article are planned as follows. In the second section, we introduce the data set prepared for wheat productivity and deep learning models that perform regression analysis on this data set. In the third section, comparatively, the results of the R^2 score, MAPE, RMSE, MSE, MAE performance obtained from LSTM, and GRU based deep learning models are presented. In the last section, the study is concluded.

2. Material and Methods

In this section of the study, the dataset used to predict wheat productivity and the basis of two different deep learning architectures that enable regression-based analysis are explained.

2.1. Material

To perform regression analysis in the study, a data set consisting of monthly rain, humidity and temperature data, wheat production amount, and wheat productivity data was created between 1980 and 2020 in Konya province. In the created data set, there are monthly average relative humidity (%), monthly average temperature ($^{\circ}\text{C}$) and monthly total rainfall ($\text{mm}=\text{kg}\div\text{m}^2$). These values were obtained from the T.C. Ministry of Agriculture and Forestry. Wheat productivity data were obtained from the Turkish Statistical Institute (TUIK) central distribution system.

The data used in the regression analysis were first normalized to the 0-1 range to perform faster processing. Year, temperature, humidity, rain, cultivated area, and production amount values were used as input attributes in the study. The obtained wheat yield value was used as the output value. The inputs

from the deep learning model used as input attributes are given in Table 1. All data presented in Table 1 were used in the study. In order not to get a different result when running each deep learning model, the data set is divided into two separate parts as training and testing according to the K-fold 5 value.

Table 1. Features used in wheat yield estimation

| Raw Inputs Year | Inputs | | | | | Outputs |
|-----------------|-------------|----------|--------|-----------------|-------------------|---------|
| Year | Temperature | Humidity | Rain | Cultivated Area | Production Amount | Yield |
| 1980 | 11.349 | 62.216 | 32.06 | 9,209.930 | 1,878.825 | 204 |
| 1981 | 12.108 | 61.116 | 28.091 | 9,262.190 | 1,713.505 | 185 |
| | | ... | ... | ... | | ... |
| 1990 | 10.658 | 59.366 | 19.25 | 8,890.250 | 1,813.611 | 204 |
| | | ... | ... | ... | | ... |
| 2000 | 10.858 | 58.483 | 21.541 | 7,959.120 | 1,806.615 | 237 |
| | | ... | ... | ... | | ... |
| 2007 | 12.608 | 66.525 | 21.808 | 6,751.320 | 1,026.565 | 343 |
| | | ... | ... | ... | | ... |
| 2017 | 11.775 | 59.399 | 25.983 | 7,468.193 | 2,192.574 | 1.339 |
| | | ... | ... | ... | | ... |
| 2020 | 13.116 | 56.674 | 24.308 | 6,202.606 | 1,921.433 | 1.355 |

The year, input and output values of the input data defined in Table 1 are shown. Temperature, humidity, and rainfall data from these input data includes annual average data. The average data was obtained by taking the average of the data collected from January to December of temperature, humidity, and rainfall data. In the specified structure, there are 5 inputs under normal conditions: temperature, humidity, rainfall, cultivated area, and production amount. Considering that the temperature, humidity, and rainfall data are the averages of the data for all months from January to December, each input has 12 values. By adding monthly inputs of temperature, humidity and rainfall data, cultivated area, and production amount inputs, it reaches 38 input values in total.

Table 2. Monthly average temperature data

| Raw Inputs Year | Temperature Inputs (°C) | | | | | | | | | | | |
|-----------------|-------------------------|----------|-------|-------|------|------|------|--------|-----------|---------|----------|----------|
| Year | January | February | March | April | May | June | July | August | September | October | November | December |
| 1980 | -1.4 | -0.3 | 4.8 | 10.1 | 15.3 | 20.8 | 25.4 | 22.4 | 17.1 | 12.7 | 6.5 | 2.8 |
| 1981 | 1.5 | 2.0 | 8.0 | 11.0 | 13.3 | 20.4 | 23.1 | 21.7 | 19.1 | 15.0 | 4.8 | 5.4 |
| | | ... | ... | ... | | | ... | ... | | | | ... |
| 1990 | -4.4 | -0.4 | 5.9 | 10.0 | 13.4 | 19.2 | 23.6 | 21.3 | 17.3 | 12.2 | 7.4 | 2.4 |
| | | ... | ... | ... | | | ... | ... | | | | ... |
| 2000 | -5.2 | -2.3 | 3.8 | 12.7 | 14.6 | 19.3 | 26.0 | 22.6 | 19.0 | 11.5 | 7.2 | 1.1 |
| | | ... | ... | ... | | | ... | ... | | | | ... |
| 2007 | 0.3 | 0.3 | 6.6 | 8.9 | 19.1 | 22.7 | 25.3 | 25.6 | 20.1 | 14.0 | 7.1 | 1.3 |
| | | ... | ... | ... | | | ... | ... | | | | ... |
| 2017 | -4.8 | -1.5 | 6.9 | 10.8 | 15.4 | 20.4 | 25.3 | 24.3 | 22.4 | 12.5 | 6.2 | 3.4 |
| | | ... | ... | ... | | | ... | ... | | | | ... |
| 2020 | 0.4 | 2.8 | 7.2 | 10.8 | 15.9 | 20.3 | 25.5 | 24.2 | 22.6 | 17.1 | 6.0 | 4.6 |

In Table 2, the monthly temperature values that enable the annual average temperature values in Table 1 to be obtained are shown. The temperature input is obtained by calculating the average of these temperature values.

Table 3. Monthly average relative humidity

| Raw Inputs Year | Humidity Inputs (%) | | | | | | | | | | | |
|-----------------|---------------------|----------|-------|-------|------|------|------|--------|-----------|---------|----------|----------|
| Year | January | February | March | April | May | June | July | August | September | October | November | December |
| 1980 | 77.5 | 80.1 | 72.4 | 66.8 | 57.8 | 46.0 | 39.3 | 45.4 | 50.3 | 63.3 | 73.6 | 74.1 |
| 1981 | 83.7 | 76.9 | 65.2 | 50.1 | 55.7 | 51.3 | 45.6 | 48.8 | 47.6 | 62.5 | 71.5 | 74.5 |
| | | | | | | | | | | | | |
| 1990 | 76.3 | 77.8 | 55.4 | 58.0 | 61.2 | 47.4 | 42.9 | 40.6 | 47.9 | 55.5 | 71.6 | 77.8 |
| | | | | | | | | | | | | |
| 2000 | 75.6 | 77.2 | 60.6 | 58.0 | 59.5 | 46.7 | 29.3 | 46.6 | 44.2 | 60.9 | 62.3 | 80.9 |
| | | | | | | | | | | | | |
| 2007 | 84.0 | 86.7 | 74.8 | 69.5 | 59.5 | 52.0 | 37.8 | 43.1 | 46.8 | 69.3 | 85.2 | 89.6 |
| | | | | | | | | | | | | |
| 2017 | 85.6 | 77.8 | 63.6 | 53.0 | 58.1 | 54.7 | 35.3 | 45.2 | 31.7 | 53.4 | 73.6 | 80.8 |
| | | | | | | | | | | | | |
| 2020 | 77.0 | 72.2 | 67.6 | 59.5 | 53.6 | 47.9 | 36.4 | 31.4 | 42.6 | 46.4 | 68.1 | 77.4 |

Table 3 shows the monthly relative humidity values, which allow the annual average relative values in Table 1 to be obtained. By calculating the average of these relative humidity values, the relative humidity input values are obtained.

Table 4. Monthly total rainfall

| Raw Inputs Year | Rain Inputs (mm) | | | | | | | | | | | |
|-----------------|------------------|----------|-------|-------|------|------|------|--------|-----------|---------|----------|----------|
| Year | January | February | March | April | May | June | July | August | September | October | November | December |
| 1980 | 33.3 | 33.0 | 42.0 | 73.5 | 57.6 | 21.2 | 0.8 | 0 | 3.9 | 69.7 | 33.9 | 15.9 |
| 1981 | 112.2 | 32.5 | 19.3 | 18.2 | 40.7 | 23.5 | 13.9 | 0.3 | 0.0 | 10.2 | 15.1 | 51.2 |
| | | | | | | | | | | | | |
| 1990 | 9.2 | 24.9 | 3.0 | 17.1 | 41.4 | 8.0 | 0.2 | 0 | 25.7 | 27.3 | 22.5 | 51.7 |
| | | | | | | | | | | | | |
| 2000 | 30.1 | 15.2 | 11.2 | 38.7 | 56.2 | 17.6 | 0 | 4.4 | 4.5 | 32.3 | 26.2 | 22.1 |
| | | | | | | | | | | | | |
| 2007 | 20.9 | 19.3 | 15.4 | 16.1 | 16.3 | 15.9 | 0.4 | 6.0 | 4.1 | 25.5 | 68.0 | 53.8 |
| | | | | | | | | | | | | |
| 2017 | 30.6 | 2.4 | 61.4 | 33.9 | 45.6 | 22.6 | 0.0 | 19.3 | 3.9 | 14.6 | 62.8 | 14.7 |
| | | | | | | | | | | | | |
| 2020 | 48.7 | 36.5 | 51.8 | 35.3 | 43.5 | 23.9 | 0.9 | 0.4 | 6.9 | 4.1 | 19.6 | 20.1 |

In Table 4, the monthly total rainfall values that provide the annual total rainfall in Table 1 are shown. By calculating the average of these total rainfall values, the total rainfall input

values are obtained. To reduce the number of entries from 38 to 5, a data set entry is defined, which is obtained from annual averages by calculating the average temperature, humidity, and total rainfall values. When the annual average values are obtained, it is ensured that the annual crop yield estimation is made from the inputs given to the model.

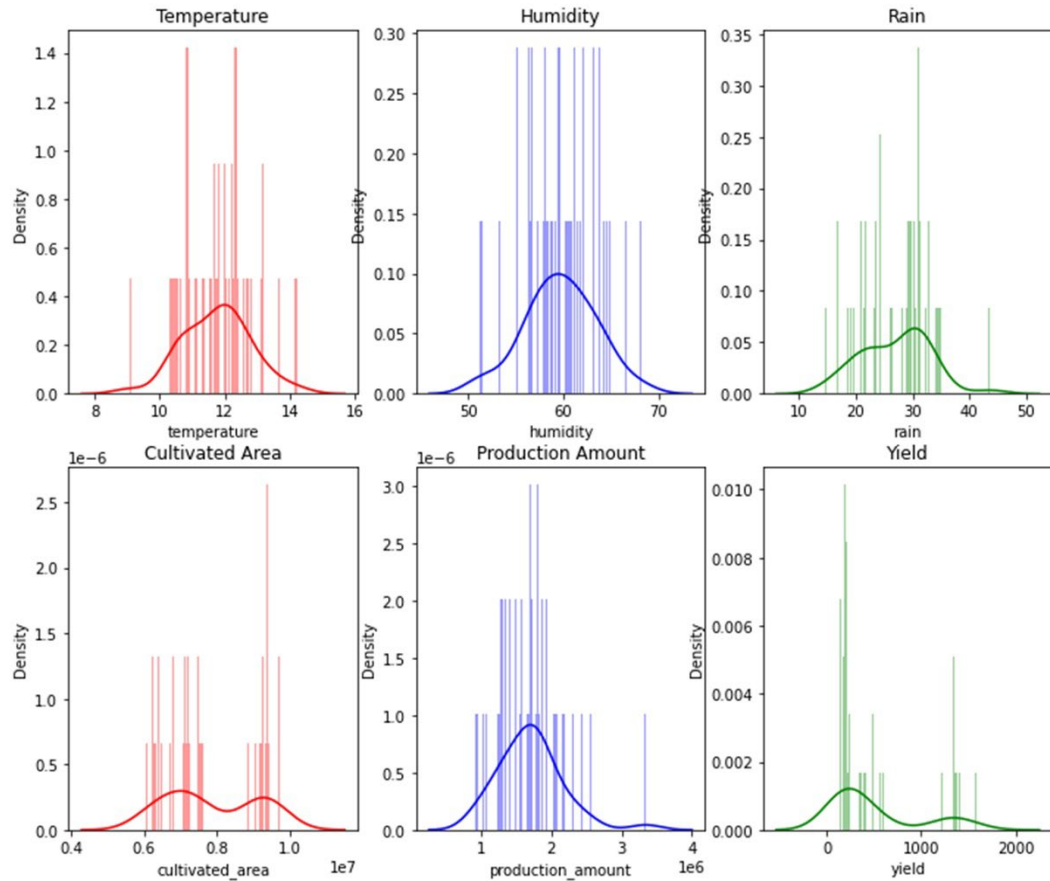


Figure 1. Input and output parameters in the used data set

2.2. Methods

In the study, methods based on the Recurrent Neural Network (RNN) architecture, which are popular recently and are frequently used in the analysis of serial data, are used. For this purpose, a two-door Gated Recurrent Units (GRU) structure was used for wheat productivity analysis. After the GRU structure, the LSTM structure was used, which resolved the gradient burst problems in the RNN structures. It is difficult to train models consisting of RNN structure in training datasets consisting of long-range data [31]. To overcome this training difficulty, models such as GRU and LSTM, which can be trained with long-range data, are preferred.

2.2.1. GRU

Structures that do not contain memory units to control information flow in RNN structures are called GRU structures. In this structure, all confidential situations can be used without any information flow control. Compared to RNN models, models based on the GRU structure have fewer parameters. As a result of fewer parameters, the processing load is reduced and faster training is realized. In addition, generalizations can be made with very little data. The success of retrospective transactions made from

the current step to the previous steps is reported to be low [32]. However, it is preferred because it can generalize with fewer parameters and performs fast training modeling.

There are two gates for the modeling of GRU structures [33]. One of these gates is the reset gate, which decides how a new input is combined with the memory from the previous step. The second gate of the GRU structure determines how long the state before the current step will remain in memory. The equation defining the gates of the GRU structure is given in detail below.

$$h_t = (1 - z_t) \odot h_{t-1} + z_t \odot \tilde{h}_t \tag{1}$$

$$\text{Update gate } (z_t) = \sigma(W_z x_t + U_z h_{t-1} + b_z) \tag{2}$$

$$\tilde{h}_t = \tanh(W_h x_t + r_t \odot (U_h h_{t-1})) + b_h \tag{3}$$

$$\text{Reset gate } (r_t) = \sigma(W_r x_t + U_r h_{t-1} + b_r) \tag{4}$$

The expressions defined in Equations 1-4 protect important features. At the same time, data protection is required for long-term transfers of these features [34]. Among the symbols in Equations 1-4, W represents the weight at time t , and h_{t-1} represents the values of the hidden layer at time $t - 1$. U and σ represent the cell units in GRU and the sigmoid activation function, respectively [33]. Equation 1 shows the linear interpolation of \tilde{h}_t with new regression information to h_{t-1} , the situation at time $t - 1$. z_t , which is one of the important gates of the GRU structure, decides how much new information can be added and how much old information can be kept. x_t is the vector at time t given as input to the GRU structure. The r_t is a gate that checks how much the state at time $t - 1$ affects the current state. The small r_t value indicates that less information is retained at time t than at time $t - 1$.

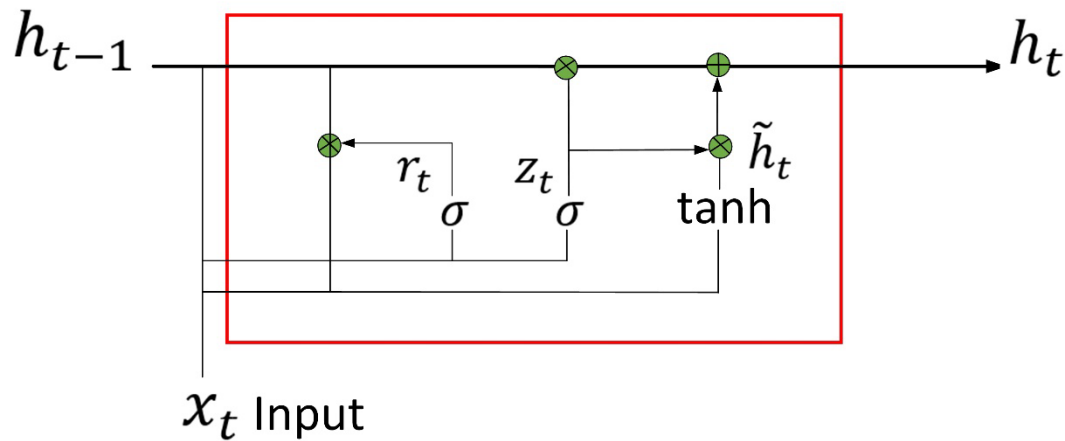


Figure 2. GRU structure internal diagram

2.2.2.LSTM

Depending on the input depth, the training process of recurrent neural networks can take a lot of time. Loss functions in these neural networks can also have varying sensitivities. Depending on the variability of the losses in different layers, different gradient values can be obtained in different layers [35]. Problems with vanishing and gradient bursts due to variable gradient values are frequently encountered in RNN structures [36]. This problem, which occurs as a result of multiplying the weight matrices one after another, arises in the backpropagation stage of the RNN algorithm with the disappearance and explosion of the gradient. Despite the mentioned drawbacks, RNN constructs give good success in non-long-term transactions between the current step and pre-current step [37]. However, the mentioned disadvantages affect recall in long-term transactions. The LSTM method has been developed to reduce forgetting by increasing recall in long-term processes [38, 39]. LSTM is a basic

format of RNN structures with sequential data entry. The LSTM structure maintains a chain structure that animates time steps in time series [3].

In LSTM structures, h_t showing the current hidden state, h_{t-1} representing the state of the previous step, and x_t depending on the input from outside. LSTM structures have three doors and one layer [40]. These doors and the interior details of the layer are shown in Figure 3. The terms f_t , i_t , and o_t for forgetting, entry and exit gates at time t , respectively, are shown in Figure 3. The state layer is also shown with the g_t symbol.

$$f_t = \sigma(W_f X_t + U_f h_{t-1} + b_f) \quad (5)$$

$$i_t = \sigma(W_i X_t + U_i h_{t-1} + b_i) \quad (6)$$

$$o_t = \sigma(W_o X_t + U_o h_{t-1} + b_o) \quad (7)$$

$$g_t = \tanh(W_g x_t + R_g h_{t-1} + b_g) \quad (8)$$

In the equations in Figures 5-8, the weight, repetitive weight, and bias values are indicated by the symbols W , R , and b , respectively.

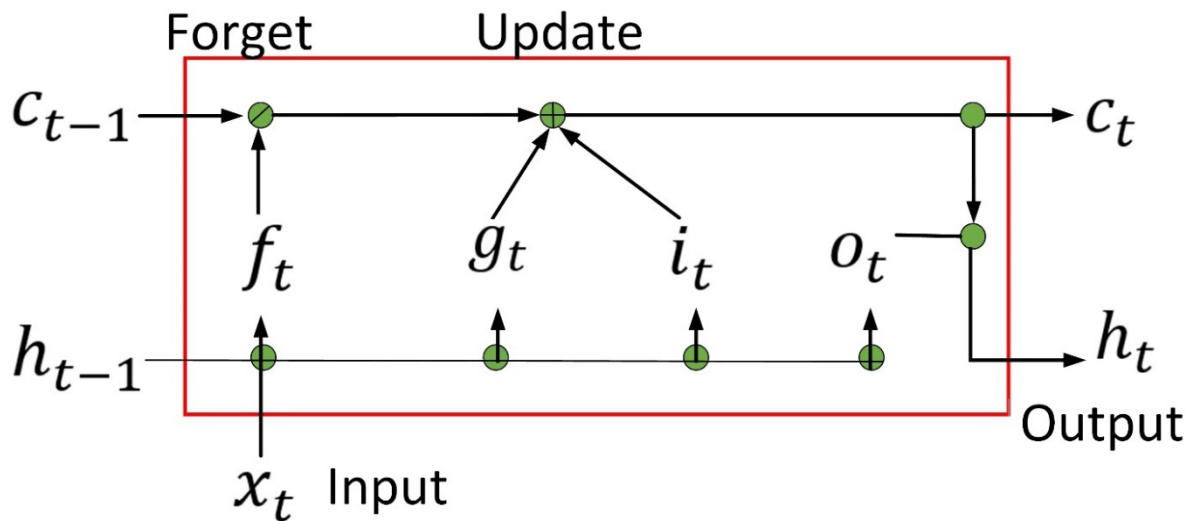


Figure 3. LSTM cell structure

3. Experimental Results

In the regression analysis, the data set consisting of monthly rain, humidity, temperature data, wheat production amount, and wheat productivity data was first normalized to the 0-1 range. The normalized data are divided into two parts, training and testing, to model according to the K-fold 5 value. The training data are modeled with a structure based on the GRU algorithm detailed in Figure 2. The parameters of the GRU algorithm used in training modeling are presented in Table 5.

Table 5. Used GRU model parameters

| Parameter | Value |
|-----------|-----------------------|
| Layers | 1, 5, 10 |
| Loss | Mean absolute error |
| Optimizer | Adam, Adamax, RMSprop |

| | |
|------------|-------------|
| Epochs | 50, 75, 100 |
| Batch size | 4, 32, 74 |
| Activation | Tanh, ReLU |

In this article, MAPE, MAE, R^2 , MSE, and RMSE performance measurement metrics presented in Equations 9-13 were used to measure the success of models developed with GRU and LSTM, which are deep learning models proposed to predict wheat productivity [40].

$$MAPE = \frac{100}{m} \sum_{i=1}^m \left[\frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i} \right] \quad (9)$$

$$MAE = \frac{100}{m} \sum_{i=1}^m \left[\frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i} \right] \quad (10)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum(Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum(Y_i - \bar{Y})^2} \quad (11)$$

$$MSE = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \quad (12)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (Y_i - \hat{Y}_i)^2} \quad (13)$$

In Table 5, the recommended GRU structures recommended for wheat productivity are given. As an optimization method, Adamax, RMSprop, and Adam optimization methods have been tested. After the test processes, the best performance values for R^2 , MSE, RMSE, and MAPE were seen to be obtained by the Adam optimization method. 50, 75, and 100 steps were tested separately in the testing of the proposed GRU method. To provide a comprehensive overview of these steps, the graphs obtained as a result of 100-step tests are presented. The best results were obtained in the 10-layer structure of the model, which was created from 1, 5, and 10-layer GRU structures in series. To measure the performance of the proposed model in wheat productivity, the performance measurement values of R^2 , MSE, RMSE, and MAPE, which are widely used in the literature, were used.

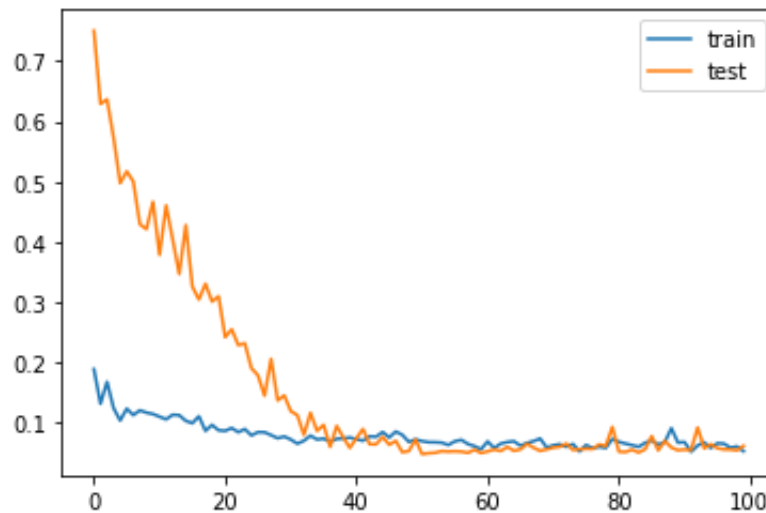


Figure 4. GRU model training and test loss graph

Training and test loss graphs are given in Figure 4 to support these results. Although there is a large difference between the training and test loss values at the beginning, after the 38th step, the training and test loss continue to equalize. In Figure 5, the graph showing the actual and predicted values

obtained as a result of the regression analysis of wheat productivity is shown. Although the difference is high in the first stages of the test process, it is seen that the difference decreases towards the last stage of the iteration.

Table 6. Performance results of the GRU model

| Algorithm | R ² Score | MSE | RMSE | MAE | MAPE |
|--------------------------------|----------------------|--------|--------|--------|------|
| GRU Model with Adam (Training) | 0.9403 | 0.0092 | 0.0369 | 0.0736 | 8.52 |
| GRU Model with Adam (Testing) | 0.9550 | 0.0059 | 0.0280 | 0.0623 | 7.45 |

In Table 6, the performance results obtained in both the training and testing phases are presented. Based on these performance results presented, the performance results of the proposed GRU model are at a satisfactory level.

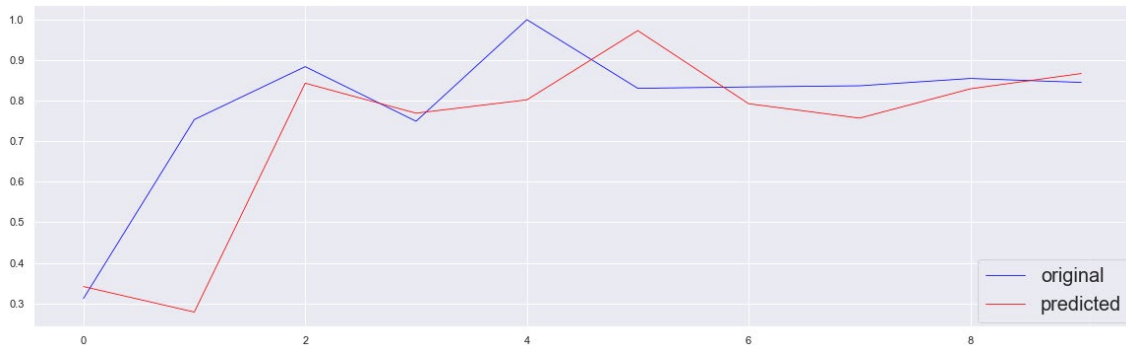


Figure 5. Proposed GRU model performance output

In the next stage of the study, the LSTM algorithm was carried out. The adjustment table used to perform the test operations with the LSTM algorithm is given in Table 7.

Table 7. Used GRU model parameters

| Parameter | Value |
|------------|-----------------------|
| Layers | 1, 8, 10 |
| Loss | Mean absolute error |
| Optimizer | Adam, Adamax, RMSprop |
| Epochs | 25, 50, 100 |
| Batch size | 4, 16, 64 |
| Activation | ReLU |

In general, results similar to the results obtained from the GRU method were also obtained in the LSTM method. It was seen that the best R², MSE, RMSE, and MAPE performance values were obtained by the Adam optimization method in the test processes of the LSTM algorithm. In testing the proposed

LSTM method, steps 25, 50, and 100 were tested separately. To provide a comprehensive overview of these steps, the graphs obtained as a result of 100-step tests are presented. The best results were obtained in the 10-layer structure of the model, which was created from 1, 8, and 10-layer LSTM structures in series. In the proposed LSTM model, as in the GRU model, the performance measurement values of R^2 , MSE, RMSE, and MAPE, which are widely used in the literature, were used to measure wheat productivity performance.

Table 8. Performance results of the LSTM model

| Algorithm | R^2 Score | MSE | RMSE | MAE | MAPE |
|---------------------------------|-------------|--------|--------|--------|------|
| LSTM Model with Adam (Training) | 0.9510 | 0.0080 | 0.0346 | 0.0722 | 7.80 |
| LSTM Model with Adam (Testing) | 0.9667 | 0.0054 | 0.0280 | 0.0614 | 7.33 |

In Table 8, both the training and test performance results obtained from the proposed LSTM method are presented. Based on these performance results presented, it can be stated that the performance results of the proposed LSTM model are at a satisfactory level.

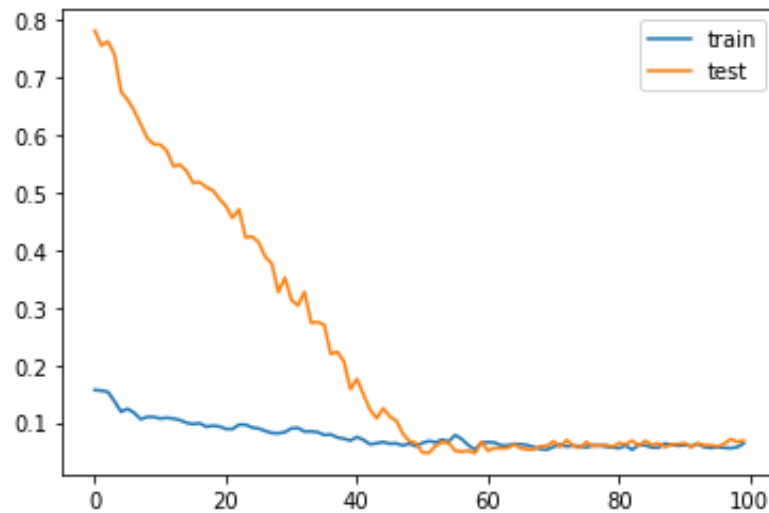


Figure 6. GRU model training and test loss graph

Training and test loss graphs are given in Figure 6 to support these results. Although there is a big difference between the training and test loss values at the beginning, after the 48th step, the training and test loss continues to be equalized. In Figure 7, the graph shows the actual and predicted values obtained as a result of the regression analysis of wheat productivity. Although the difference is high in the first stages of the test process, it is seen that the difference decreases towards the last stage of the iteration.

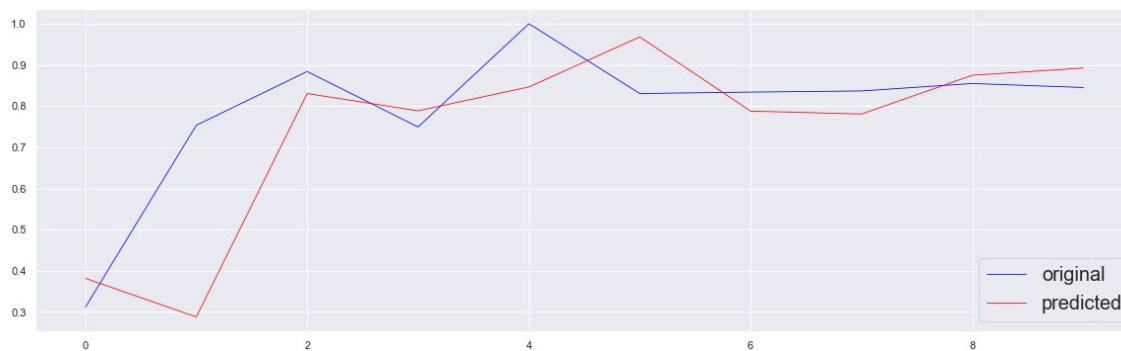


Figure 7. Proposed LSTM model performance output

The data set used in this article is original. It has not been used in any previous study in the literature. It has not been used in any previous study in the literature. For the stated reason, deep learning models focusing on different wheat crop yield estimations were preferred to compare the produced models more effectively and accurately. The results of the comparison obtained with these models are presented in Table 9. In Table 9, the comparison results performed on the wheat yield estimation data set in a different region than the Konya region, which constitutes the data set we used, are presented. R^2 and RMSE performance metrics obtained from Cao et al. [3]'s DNN (Deep Neural Network), CNN, and LSTM deep learning models are presented. The DNN model is a deep learning model consisting of feed-forward, fully interconnected neural networks. In Cao et al. [3]'s study, when the DNN, CNN, and LSTM models were evaluated within themselves, it was determined that the LSTM model was more successful than the CNN models consisting of 1-dimensional convolution, maximum pooling, and fully connected layers, and the five-layer DNN models with 528, 384, 128, 64 and 32 neurons. As the RMSE value decreases, the success rate increases. When the model comparison is made according to these two rules, it can be said that the study has academic innovation and effectiveness.

Table 9. Model comparisons in different wheat datasets

| Algorithm | R^2 Score | MSE | RMSE | MAE | MAPE |
|--------------------------------|-------------|--------|--------|--------|------|
| GRU Model with Adam (Testing) | 0.9550 | 0.0059 | 0.0280 | 0.0623 | 7.45 |
| LSTM Model with Adam (Testing) | 0.9667 | 0.0054 | 0.0280 | 0.0614 | 7.33 |
| [3]'s DNN Model | 0.85 | - | 742.49 | - | - |
| [3]'s CNN Model | 0.86 | - | 767.43 | - | - |
| [3]'s LSTM Model | 0.87 | - | 657.91 | - | - |
| [30]'s LSTM Model | 0.83 | - | 812.83 | - | - |

In another study on the estimation of wheat yield in the literature, Tian et al. [30] developed the LSTM model. With this model, artificial neural networks and SVM, which are machine learning methods, are compared for wheat yield estimation. As a result of the comparison processes, the artificial neural network reached a success rate of RMSE=812.83, 0.42 for R^2 . The SVM method, on the other hand, reached a success rate of RMSE=867.70, 0.41 for R^2 . On the other hand, in the LSTM model, RMSE = 812.83 gives a performance result of 0.83 for R^2 . The results obtained as a result of the comparison information given show that the deep learning models proposed for wheat yield prediction

are reliable and promising. The results of the studies in the literature show that LSTM-based models can give more accurate results in yield estimations.

4. Conclusion and Discussion

To realize food production according to the increase in the world population, the crop to be produced must be planned in advance, at the right time, and reliably. In this study, two different deep learning models based on GRU and LSTM, which make productivity estimation on wheat data of Konya province, are proposed to meet the stated requirement. Since the two proposed deep learning models are based on RNN [41–44], both the performance and training times of the models were compared. As a result of the comparison processes, it is seen that the results of the LSTM model are slightly better than the GRU model. However, the training time of the GRU model was much shorter than the training time of the LSTM model. While the GRU model performs training modeling in 5.43 seconds, the LSTM model completes the training modeling in 6.62 seconds. In future studies, it is planned that more detailed yield analyses can be carried out in studies to be carried out using monthly or daily data obtained from all parameters in the data set.

References

- [1] Vanli, Ö., Ustundag, B. B., Ahmad, I., Hernandez-Ochoa, I. M., & Hoogenboom, G. (2019). Using crop modeling to evaluate the impacts of climate change on wheat in southeastern turkey. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(28), 29397–29408. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06061-6>.
- [2] Asseng, S., Cammarano, D., Basso, B., Chung, U., Alderman, P. D., Sonder, K., ... Lobell, D. B. (2017). Hot spots of wheat yield decline with rising temperatures. *Global Change Biology*, 23(6), 2464–2472. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/gcb.13530>.
- [3] Cao, J., Zhang, Z., Luo, Y., Zhang, L., Zhang, J., Li, Z., & Tao, F. (2021). Wheat yield predictions at a county and field scale with deep learning, machine learning, and google earth engine. *European Journal of Agronomy*, 123, 126204. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126204>.
- [4] FAO, I. (2017). WFP (2015). The state of food insecurity in the World. Meeting the 2015 international hunger targets: taking stock of uneven progress. Rome, FAO.
- [5] Dodds, F., & Bartram, J. (2016). *The water, food, energy, and climate Nexus: Challenges and an agenda for action*. Routledge.
- [6] Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18–27. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>.
- [7] Vanli, Ö., Ahmad, I., & Ustundag, B. B. (2020). Area Estimation and Yield Forecasting of Wheat in Southeastern Turkey Using a Machine Learning Approach. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 48(12), 1757–1766. <https://doi.org/10.1007/s12524-020-01196-3>.
- [8] He, Z., Xia, X., & Zhang, Y. (2010). Breeding Noodle Wheat in China. In *Asian Noodles: Science, Technology, and Processing* (pp. 1–23). <https://doi.org/10.1002/9780470634370.ch1>.
- [9] Chen, Y., Zhang, Z., Tao, F., Wang, P., & Wei, X. (2017). Spatio-temporal patterns of winter wheat yield potential and yield gap during the past three decades in North China. *Field Crops Research*, 206, 11–20. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.02.012>.
- [10] Ahmad, I., Saeed, U., Fahad, M., Ullah, A., Habib ur Rahman, M., Ahmad, A., & Judge, J. (2018). Yield Forecasting of Spring Maize Using Remote Sensing and Crop Modeling in Faisalabad-Punjab Pakistan. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 46(10), 1701–1711. <https://doi.org/10.1007/s12524-018-0825-8>.
- [11] Nasim, W., Amin, A., Fahad, S., Awais, M., Khan, N., Mubeen, M., ... Jamal, Y. (2018). Future risk assessment by estimating historical heat wave trends with projected heat accumulation using

- SimCLIM climate model in Pakistan. *Atmospheric Research*, 205, 118–133. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2018.01.009>.
- [12] Ben-Asher, J., Yano, T., Aydın, M., & Garcia y Garcia, A. (2019). Enhanced Growth Rate and Reduced Water Demand of Crop Due to Climate Change in the Eastern Mediterranean Region (pp. 269–293). https://doi.org/10.1007/978-3-030-01036-2_13.
- [13] Ahmad, I., Wajid, S. A., Ahmad, A., Cheema, M. J. M., & Judge, J. (2019). Optimizing irrigation and nitrogen requirements for maize through empirical modeling in semi-arid environment. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(2), 1227–1237. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2772-x>.
- [14] Belhoucette, H., Nasim, W., Shahzada, T., Hussain, A., Therond, O., Fahad, E., ... Wery, J. (2017). Economic and environmental impacts of introducing grain legumes in farming systems of Midi-Pyrenees region (France): a simulation approach.
- [15] Dogan, H. G., & Karakas, G. (2018). The effect of climatic factors on wheat yield in Turkey: a panel DOLS approach. *Fresenius Environ Bull*, 27, 4162–4168.
- [16] Dudu, H., & Cakmak, E. H. (2018). Climate change and agriculture: an integrated approach to evaluate economy-wide effects for Turkey. *Climate and Development*, 10(3), 275–288.
- [17] TÜİK. (2021). TÜİK. Retrieved from <https://data.tuik.gov.tr/>.
- [18] Cline, W. R. (2007). *Global warming and agriculture: End-of-century estimates by country*. Peterson Institute.
- [19] Zhao, C., Liu, B., Piao, S., Wang, X., Lobell, D. B., Huang, Y., ... Ciais, P. (2017). Temperature increase reduces global yields of major crops in four independent estimates. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(35), 9326–9331.
- [20] Asseng, S., Ewert, F., Martre, P., Rötter, R. P., Lobell, D. B., Cammarano, D., ... White, J. W. (2015). Rising temperatures reduce global wheat production. *Nature climate change*, 5(2), 143–147.
- [21] Ahmed, I., Ullah, A., Rahman, M. H. ur, Ahmad, B., Wajid, S. A., Ahmad, A., & Ahmed, S. (2019). Climate change impacts and adaptation strategies for agronomic crops. In *Climate change and agriculture* (pp. 1–14). IntechOpen London, UK.
- [22] Jeong, J. H., Resop, J. P., Mueller, N. D., Fleisher, D. H., Yun, K., Butler, E. E., ... Kim, S.-H. (2016). Random Forests for Global and Regional Crop Yield Predictions. *PLOS ONE*, 11(6), e0156571. Retrieved from <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0156571>.
- [23] Shahhosseini, M., Martinez-Feria, R., Hu, G., & Archontoulis, S. (2019). Maize yield and nitrate loss prediction with machine learning algorithms. *Environmental Research Letters*, 14. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab5268>.
- [24] Jiang, D., Yang, X., Clinton, N., & Wang, N. (2004). An artificial neural network model for estimating crop yields using remotely sensed information. *International Journal of Remote Sensing*, 25(9), 1723–1732. <https://doi.org/10.1080/0143116031000150068>.
- [25] Khaki, S., Wang, L., & Archontoulis, S. V. (2020). A CNN-RNN Framework for Crop Yield Prediction. *Frontiers in Plant Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01750>.
- [26] LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521(7553), 436–444. <https://doi.org/10.1038/nature14539>.
- [27] You, J., Li, X., Low, M., Lobell, D., & Ermon, S. (2017). Deep gaussian process for crop yield prediction based on remote sensing data. In *Thirty-First AAAI conference on artificial intelligence*.
- [28] Khaki, S., & Wang, L. (2019). Crop Yield Prediction Using Deep Neural Networks. *Frontiers in Plant Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00621>.
- [29] Kim, N., Ha, K.-J., Park, N.-W., Cho, J., Hong, S., & Lee, Y.-W. (2019). A Comparison Between Major Artificial Intelligence Models for Crop Yield Prediction: Case Study of the Midwestern United States, 2006–2015. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8, 240. <https://doi.org/10.3390/ijgi8050240>.
- [30] Tian, H., Wang, P., Tansey, K., Zhang, J., Zhang, S., & Li, H. (2021). An LSTM neural network for improving wheat yield estimates by integrating remote sensing data and meteorological data in the Guanzhong Plain, PR China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 310, 108629.

- <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108629>.
- [31] Jayaraman, A. K., Murugappan, A., Trueman, T. E., & Cambria, E. (2021). Comment toxicity detection via a multichannel convolutional bidirectional gated recurrent unit. *Neurocomputing*, 441, 272–278. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.neucom.2021.02.023>.
- [32] Wang, J., Zhang, Y., Yu, L.-C., & Zhang, X. (2022). Contextual sentiment embeddings via bidirectional GRU language model. *Knowledge-Based Systems*, 235, 107663. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.knosys.2021.107663>.
- [33] Hu, L., Wang, C., Ye, Z., & Wang, S. (2021). Estimating gaseous pollutants from bus emissions: A hybrid model based on GRU and XGBoost. *Science of The Total Environment*, 783, 146870.
- [34] Chen, J. X., Jiang, D. M., & Zhang, Y. N. (2019). A Hierarchical Bidirectional GRU Model With Attention for EEG-Based Emotion Classification. *IEEE Access*, 7, 118530–118540. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2936817>.
- [35] Aggarwal, C. C. (2018). *Neural Networks and Deep Learning*. *Neural Networks and Deep Learning*. Cham: Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-94463-0>.
- [36] Liu, G., & Guo, J. (2019). Bidirectional LSTM with attention mechanism and convolutional layer for text classification. *Neurocomputing*, 337, 325–338. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.neucom.2019.01.078>.
- [37] Pang, Z., Niu, F., & O’Neill, Z. (2020). Solar radiation prediction using recurrent neural network and artificial neural network: A case study with comparisons. *Renewable Energy*, 156, 279–289. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.04.042>.
- [38] Wang, J. Q., Du, Y., & Wang, J. (2020). LSTM based long-term energy consumption prediction with periodicity. *Energy*, 197, 117197.
- [39] Srinivasu, P. N., SivaSai, J. G., Ijaz, M. F., Bhoi, A. K., Kim, W., & Kang, J. J. (2021). Classification of Skin Disease Using Deep Learning Neural Networks with MobileNet V2 and LSTM. *Sensors*. <https://doi.org/10.3390/s21082852>.
- [40] Çetiner, H., & Çetiner, İ. (2021). Analysis of Different Regression Algorithms for the Estimate of Energy Consumption. *European Journal of Science and Technology*, (31), 23–33. <https://doi.org/10.31590/ejosat.969539>.
- [41] ArunKumar, K. E., Kalaga, D. V., Kumar, C. M. S., Kawaji, M., & Brenza, T. M. (2022). Comparative analysis of Gated Recurrent Units (GRU), Long Short-Term Memory (LSTM) cells, Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA), Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average (SARIMA) for forecasting COVID-19 trends. *Alexandria Engineering Journal*.
- [42] Ahmadzadeh, E., Kim, H., Jeong, O., Kim, N., & Moon, I. (2022). A Deep Bidirectional LSTM-GRU Network Model for Automated Ciphertext Classification. *IEEE Access*.
- [43] Bhadouria, S. S., & Gupta, S. (2022). Combined LSTM GRU Model for Prediction of Congestion State in QUIC Protocol. In *Proceedings of International Conference on Computational Intelligence and Emerging Power System* (pp. 123–131). Springer.
- [44] Li, W., Wu, H., Zhu, N., Jiang, Y., Tan, J., & Guo, Y. (2021). Prediction of dissolved oxygen in a fishery pond based on gated recurrent unit (GRU). *Information Processing in Agriculture*, 8(1), 185–193.

DOĞRUSAL OLMAYAN YÜK BULUNAN TESİSLERDE GÜÇ FAKTÖRÜNE TOPLAM HARMONİK BOZULMANIN ETKİSİ

Faruk KÜRKER^{1*}

¹Adıyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Adıyaman, 02040, Türkiye
Geliş Tarihi/Received Date: 24.02.2022 Kabul Tarihi/Accepted Date: 17.03.2022 DOI: 10.54365/adyumbd.1078595

ÖZET

Bu çalışmada, cam sanayi tesisinde ve modern bir un üretim tesisindeki değirmenlerde güç analizörü ile ölçüm yapılarak harmonik bozulmanın tanımlanması ve bu harmonik bozulmanın güç faktörüne etkisinin tespiti yapılmıştır. Başka bir ifade ile çalışma doğrusal olmayan yüklerde toplam harmonik bozulmanın güç faktörü üzerindeki etkisini sunmaktadır. Dolayısıyla toplam harmonik bozulmanın güç faktörünü etkilemesi nedeniyle güç faktörü ve toplam harmonik bozulma arasındaki ilişkiye odaklanılmıştır. Akımın toplam harmonik bozulma değerine bağlı olarak yer değiştirme güç faktörü ile temel güç faktörü arasındaki fark grafiksel olarak incelenmiştir. Yapılan ölçümler neticesinde toplam harmonik bozulma değerinin artmasına bağlı olarak temel güç faktörü değerinin de azaldığı gözlemlenmiştir. Çalışmada ayrıca güç analizörü ile yapılan ölçüm sonuçları IEEE 519-2014 harmonik standartları ile değerlendirilmiş ve akımın toplam harmonik bozulma değerlerinin belirtilen standartın üzerinde olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Harmonik, Bozulma Güç Faktörü (distortion PF), Güç Faktörü (PF), Toplam Harmonik Bozulma (THD), Yer Değiştirme Güç Faktörü (dPF).

EFFECT OF TOTAL HARMONIC DISTORTION ON POWER FACTOR IN FACILITIES WITH NON-LINEAR LOADS

ABSTRACT

In this study, the definition of harmonic distortion and the determination of the effect of this harmonic distortion on the power factor were made by measuring with a power analyzer in a glass industry facility and a modern flour production facility. In other words, the study presents the effect of total harmonic distortion on the power factor at non-linear loads. Therefore, since the total harmonic distortion affects the power factor, the relationship between the power factor and the total harmonic distortion is focused. Depending on the total harmonic distortion value of the current, the difference between the displacement power factor and the fundamental power factor is examined graphically. As a result of the measurements, it was observed that the fundamental power factor value decreased due to the increase in the total harmonic distortion value. In the study, the measurement results made with the power analyzer were evaluated with IEEE 519-2014 harmonic standards and it was determined that the total harmonic distortion values of the current were above the specified standard.

Keywords: Harmonic, Displacement Power Factor (dPF), Distortion Power Factor (Distortion PF), Total Harmonic Distortion (THD), Power Factor (PF).

1. Giriş

Elektrik sistemlerindeki harmonikler doğrusal olmayan yükler tarafından üretilir ve istenmeyen yan etkiler üretir. Harmonikler, elektrik mühendislerinin karşılaştığı en önemli sorunlardan biridir.

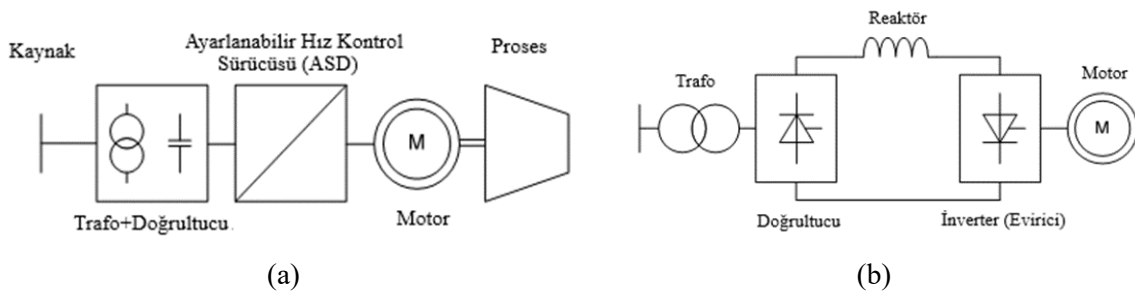
* e-posta¹ : fkurker@adiyaman.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1544-9743> (Sorumlu Yazar)

Doğrusal olmayan yükler genellikle harmoniklerin kaynağıdır. Harmonikler, motor arızalarından aşırı yüklenmiş transformatörlere ve iletkenlere kadar çeşitli sorunlara neden olabilir. Harmoniklerin neden olduğu sorunların başlıcalarından biri güç faktörü (PF) üzerindeki etkisidir. Bu nedenle, gerçek güç faktörü hesabı yapılırken toplam harmonik bozulma (THD) da göz önünde bulundurulmalıdır. Düşük PF'de düzeltilmesi gereken en hayati rahatsızlıklardan biridir. Gerilim (THD_V) ve akımın toplam harmonik bozulma (THD_I) değeri arttıkça PF değeri olması gereken değerden daha aşağı düşmektedir.

PF, akım dalga biçiminin gerilim dalga biçimiyle aynı fazda olan ideal bir sinüs dalgasından sapmasını ölçmek için kullanılan bir parametredir [1]. PF, aktif güç ile görünen güç arasındaki orandır. Bazı ülkelerde sağlanan elektriğin sinüsoidal voltajı 50 Hz ve bazılarında ise 60 Hz'dir. Akım ve gerilim faz açıları aynı fazda değilse, elektrik sisteminin verimi düşer ve görünen güç (S), aktif (P) veya gerçek gücü aşar. Endüktif sistemde voltaj akımı, kapasitif sistemde ise akım voltajı yönlendirir [2]. PF, elektrik enerjisinin kullanımı için verimliliğin bir göstergesidir. Düşük PF, daha fazla enerji tüketimine, daha fazla maliyete ve cezaya, ayrıca transformatörlerde ve şebeke üzerinden güç kayıplarına karşılık gelir [3-5].

Günümüzde, güç şebekesine bağlı çoğu elektrik yükü doğrusal değildir. Doğrusal olmayan yükler güç sistemine, güç kalitesini düşüren ve dolayısıyla güç kayıplarını artıran akım harmonikleri enjekte eder. Harmoniklerdeki artış, ek kayıplar, hassas ekipman ve koruma cihazlarının arızalanması, güç faktöründe azalma, seri ve paralel rezonans gibi çeşitli bozulmalara neden olabilir. Harmonikler ayrıca, üç fazlı motorlarda ek kayıplara, düşük güç faktörüne, verim ve çıkış torkunun azalmasına neden olur [6-10]. Harmonikler ve kayıplar arasındaki durum çok kompleks olsada, harmoniklerin güç faktörüne dahil edilmesiyle, doğrusal olmayan yüklerin etkilerinin belirlenmesinde önemli bir rol oynar [11].

Güç sistemlerinde lineer olmayan yüklerin artması ile gerilim ve akım dalga biçimleri daha da bozulmakta ve güç kalitesi bozulmaktadır. Bu gelişme nedeniyle, harmoniklerin bir sistemde üretebileceği olumsuz etkilerin değerlendirilmesi zorunlu hale gelmiştir. Bu etkiler en iyi saha ölçümleri yapılarak belirlenir. Zararlı olup olmadıklarını değerlendirmek için bu ölçümlerin bir standartla değerlendirilmesi gerekir [12]. Sistemdeki gerilim ve akım için THD değeri, harmoniklerin neden olduğu bozulma miktarının bir göstergesidir. Ayarlanabilir hız sürücü (ASD) teknolojisi, sistem tasarımını büyük ölçüde etkilemektedir. Şekil 1'de ayarlanabilir hız sürücü sisteminin genel ve detaylı gösterimi verilmiştir Şebekeden alınan AC gerilim doğrultulduktan sonra motora bağlanan inverter ile motorun hız ve gücü kontrol edilir. Bu durumda şebekeden çekilen akım lineer olmayan dalga formuna sahip olur.



Şekil 1. Ayarlanabilir hız sürücü sistemi a) genel b) detaylı gösterimi [13]

Güç sistemlerinde harmonik bileşenlerin PF üzerine etkileriyle ilgili literatürde bir kısım çalışmalar bulunmaktadır. [14] nolu çalışmada iki elektronik cihaz arasındaki harmonik etkileşimin analizini ve güç kalitesi ile elektrik enerjisi ölçüm sistemi üzerindeki etkisini incelemişler ve $\%THD_I$ değerinin PF ve yer değiştirme güç faktörü (dPF-displacement power factor) değerlerini etkilediği tespit edilmiştir. [15] nolu çalışmada ise doğrusal olmayan yüklerde güç faktörünün düzeltilmesi ve harmonik

bileşenlerin süzülmesi ile ilgili olarak %THD₁ değerini azaltmak için pasif filtre kullanılmış ve %THD₁'nin azalmasıyla PF değerinde artış olduğu gözlemlenmiştir.

Bu çalışmada, modern bir un üretim tesisinde bulunan 5 adet değirmende ve cam sanayisinde 3 adet noktada güç analizörü ile ölçüm yapılarak harmonik bozulmanın güç faktörü üzerine olan etkisine bakılmıştır. Daha önce yapılmış çalışmalardan farkı; %THD₁ değerine bağlı olarak dPF ve gerçek PF değerleri ile bu değerler arasındaki fark grafiksel olarak incelenmiş ve %THD₁'nin etkisi ölçüm sonuçları ile gösterilmiştir. Elde edilen sonuca göre THD₁ değeri arttıkça gerçek PF değerinin de o derece azaldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca güç analizörü ile yapılan ölçümler IEEE 519-2014 harmonik standartları ile değerlendirilmiş ve tüm ölçümlerde THD₁ değerinin belirtilen standartın üzerinde olduğu tespit edilmiştir.

2. Materyal ve Metod

Güç faktörünün sinüsoidal durumlarda ve nonsinüsoidal durumlarda ele alınması daha doğru sonuç elde edilmesi açısından önemlidir.

PF kavramı, bir yükün bir AC güç sisteminden aldığı akımı ne kadar verimli kullandığını ölçme ihtiyacından kaynaklanmıştır. Doğrusal yüke sahip güç sisteminde yükteki voltaj ve akım denklem 1 ve denklem 2'deki verildiği gibidir [11].

$$v(t) = v_1 \cdot \sin(\omega_0 t + \delta_1) \quad (1)$$

$$i(t) = i_1 \cdot \sin(\omega_0 t + \theta_1) \quad (2)$$

Denklem 1 ve denklem 2'de bulunan V₁ ve I₁, 50/60 Hz voltaj ve akımın tepe değerleridir ve δ₁ voltajın faz açısıdır, θ₁ akımın faz açısıdır. Yükteki gerçek PF, P'nin S'ye oranı olarak denklem 3'te belirtildiği gibi tanımlanabilir [11].

$$PF = \frac{P}{S} \quad (3)$$

Tamamen sinüsoidal durum ise denklem 4'deki gibi yazılabilir [11].

$$PF = dPF = \frac{P}{S} = \cos(\delta_1 - \theta_1) = \cos\varphi \quad (4)$$

Denklem 4'te φ, PF açısı olarak bilinir. Sinüsoidal durumda, voltaj ve akım arasında yalnızca bir faz açısı vardır. Çünkü gerçek PF ve dPF birbirine eşittir. Öte yandan dPF, gerilim ve akımın temel bileşenleri arasındaki açının kosinüsü olarak tanımlanır. Yalnızca temel frekans mevcut olduğundan; güç faktörü, gerilim ve akımın temel bileşenleri arasındaki faz açısının kosinüsü olarak hesaplanabilir ve genellikle dPF olarak adlandırılır. Doğrusal olmayan bir yük ile akım, elektrik çevrimi başına birden çok kez meydana gelebilecek darbeler halinde şebekeden çekilir. Doğrusal olmayan yükler, orjinal akım frekansına ek olarak daha yüksek frekanslarda harmonik akımlar oluşturur.

Şebeke voltajlarının ve akımlarının harmonikler içerdiği sinüsoidal olmayan durumları değerlendirecek olursak; bazı harmonikler trafonun doyumda çalışması sonucu, bazı harmonikler ise ayarlanabilir hız sürücüler ve doğrultucular gibi güç elektroniği yükleri tarafından üretilir. Önemli

harmonikler temel seviyenin üzerinde, yani 50 Hz frekanslı temel harmoniğin 3., 5., 7., 9., 11. ve 13. katları şeklindedir. Bir sistemde harmonikler mevcut ise bu durum Fourier serisine genişletilen bozuk bir periyodik akım veya voltaj dalga biçimi denklem 5 ve denklem 6'daki gibi ifade edilir [11].

$$v(t) = \sum_{k=1}^{\infty} V_k \sin(k\omega_0 t + \delta_k) \quad (5)$$

$$i(t) = \sum_{k=1}^{\infty} I_k \sin(k\omega_0 t + \theta_k) \quad (6)$$

Gerilim ve akım rms değerleri ise (denklem 7-8) [11];

$$V_{rms} = \sqrt{\sum_{k=1}^{\infty} \frac{V_k^2}{2}} = \sqrt{\sum_{k=1}^{\infty} V_{krms}^2} \quad (7)$$

$$I_{rms} = \sqrt{\sum_{k=1}^{\infty} \frac{I_k^2}{2}} = \sqrt{\sum_{k=1}^{\infty} I_{krms}^2} \quad (8)$$

Şeklinde yazılabilir. Harmonik seviyelerinin sık kullanılan bir ölçüsü, harmoniklerin rms değerinin temel frekans rms değerine oranı olan THD'nın % değeri gerim ve akım için (denklem 9-10) [11];

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} V_{krms}^2}}{V_{1rms}} \cdot \%100 = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} V_k^2}}{V_1} \cdot \%100 \quad (9)$$

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} I_{krms}^2}}{I_{1rms}} \cdot \%100 = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} I_k^2}}{I_1} \cdot \%100 \quad (10)$$

Olarak hesaplanır. Denklem 9 ve 10'da görüldüğü gibi THD, akım ve gerilim harmoniklerin rms değerlerinin toplamının, temel bileşen rms değerine oranıdır ve yüzde olarak ifade edilir. Bu değer, tam bir sinüs dalga şeklinden, harmonikleri içeren periyodik dalga şeklinin sapmasını belirlemede kullanılır. Harmonik bileşenlerin olmadığı durumlarda yani sadece temel frekanstan meydana gelen tam bir sinüs dalga şekli için THD_I ve THD_V değerleri sıfırdır. Son yıllarda lineer olmayan yüklerdeki artışın bir sonucu olarak, elektrik sistemlerinde harmoniklerin etkisini hesaba katmak ve bozulma faktörünün etkisini dahil etmek zorunluluğu doğmuştur.

Harmonikler mevcut olduğunda, S yalnızca P ve reaktif güçten (Q) oluşmaz. Bozulma gücünü (D) hesaba katmak için denklem 11'deki gibi hesaplanır [16].

$$D = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2} \quad (11)$$

Harmoniklerin bulunmadığı devrelerde PF, $\cos \varphi$ 'ye eşit iken, harmonikli devrelerde ise güç faktörü $\cos \varphi$ 'den farklıdır. Harmoniklerin mevcut olması durumunda gerçek PF, dPF ve bozulma güç faktörünün (distortion power factor-distortion PF) bir ürünü olarak ifade edilir.

Hem sinüsoidal hem de sinüsoidal olmayan durumlar için geçerli olan PF ya da toplam güç faktörü denklem 12'deki gibi tanımlanır [16].

$$PF = \frac{P}{S} = \frac{P}{S_1} \cdot \frac{1}{\left(\sqrt{1+THD_v^2} \sqrt{1+THD_i^2}\right)} = \cos\varphi \cdot \frac{1}{\left(\sqrt{1+THD_v^2} \sqrt{1+THD_i^2}\right)} = dPF \cdot \text{distortion PF} \quad (12)$$

Denklem 12'de, $\cos\varphi$ yer değiştirme güç faktörünü, THD_v gerilimdeki toplam harmonik bozulmayı, THD_i akımdaki toplam harmonik bozulmayı, toplam aktif güç P'yi, distortion PF bozulma güç faktörünü ya da harmonik güç faktörünü, toplam görünür güç S'yi ve S_1 ise temel frekanstaki görünür gücü ifade etmektedir.

dPF, akım ve gerilim arasındaki faz kayması nedeniyle gerçek gücün görünen güce oranıdır. Sinüsoidal bozulma bulunmayan durumlarda dPF, PF ile aynıdır. dPF denklem 13'deki gibi hesaplanır [16].

$$dPF = \text{displacement power factor} = \frac{P}{S} = \cos(\delta_1 - \theta_1) = \cos\varphi \quad (13)$$

Denklem 13'de, δ_1 voltajın faz açısıdır, θ_1 akımın faz açısıdır; φ ise güç faktörü açısıdır.

Bozulma PF, gerçek rms akımına bölünen temel akım olarak tanımlanır. Bozulma PF, genel olarak THD_i ve THD_v 'ye bağlıdır. Bozulma PF, bir yük akımının harmonik bozulmasının, yüke aktarılan gücün verimini ne kadar azalttığıнын bir ölçüsüdür. Harmonik güç faktörü ya da diğer ismiyle bozulma PF denklem 14'deki gibi yazılabilir [16].

$$\text{distortion PF} = \frac{1}{\left(\sqrt{1+THD_v^2} \sqrt{1+THD_i^2}\right)} = \frac{V_{1rms}}{V_{rms}} \cdot \frac{I_{1rms}}{I_{rms}} = \frac{S_1}{S} \quad (14)$$

Denklem 14'te THD gerilim ve akımın toplam harmonik bozulmasıdır.

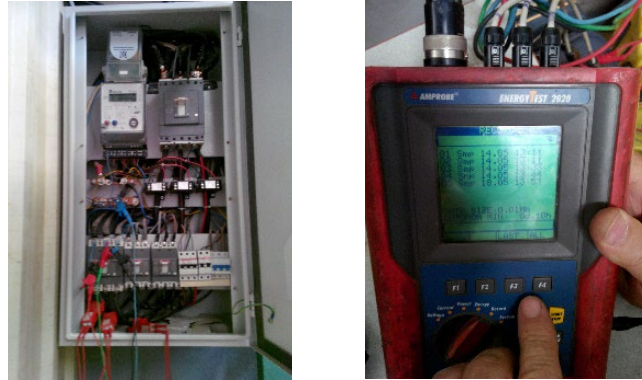
$THD_v < \%5$ ve $THD_i > \%40$ olduğu durumlarda, denklem 15'de görüldüğü üzere yalnızca THD_i 'ya bağlıdır [17].

$$PF \approx \frac{1}{\left(\sqrt{1+THD_i^2}\right)} \cdot \cos\varphi \quad (15)$$

Toplam PF'yi iyileştirmek için bir araya gelen iki eleman vardır. dPF'yi etkileyen endüktif veya kapasitif yükler ve bozulma PF'yi etkileyen doğrusal olmayan yüklerin harmonik akımlarıdır. Bu nedenle, bir sistemdeki harmonik akımları, sistemin toplam PF'sini etkilemektedir.

dPF için, bir fazda gerilim ve akımın sıfır geçişi arasındaki örnekleme sürelerinin sayısını saymak gerekir. dPF ve bozulma PF bilindiğinde, toplam PF hesaplanabilir [18].

Çalışmada, modern bir un üretim tesisinde bulunan değirmenlerde ve cam sanayisinde güç analizörü ile ölçümler yapılmıştır. Güç kalitesi parametreleri Amprobe Energy Test güç analizörü ile ölçülmüştür. Güç analizörü, akım ve gerilim harmonikleri ile P, Q ve S'nin analizini üç faz olarak yapabilen ölçüm cihazıdır. Şekil 2'de, gerilim (U), akım (I), S, P, Q, %THD_V ve %THD_I, PF ve dPF değerlerinin ölçümü ile ilgili görseller görülmektedir. Ayrıca un üretim tesisindeki gerilim ve akım grafiğinin yanısıra harmonik spektrumu da verilmiştir. Sistemin çektiği akımın harmonik spektrumu güç analizörü ile elde edilen karakteristikler, güç analizörünün sürücüsü yardımıyla bilgisayar ortamına aktarılarak bu şekilde daha ayrıntılı bir inceleme imkânı elde edilmiştir.



Şekil 2. Güç analizörü ile un değirmenlerinde ve cam sanayisinde yapılan ölçüm

Ölçüm sonuçları IEEE 519-2014 harmonik standartları ile değerlendirilmiştir. IEEE 519-2014 harmonik standardında harmonik bozulmayı değerlendirmek için akım ve gerilim harmoniklerine limitler getirilmiştir. Mevcut harmonik standartlar, I_{sc}/I_L oranı ile belirlenir. I_{sc} , PCC'de normal yük çalışma koşulları altında (Ortak Kuplaj Noktası) veya ölçüm noktasında mevcut olan maksimum kısa devre akımıdır, I_L ise maksimum talep yük akımı (temel frekans bileşeni)'dir. IEEE 519-2014 standardı gerilim ve akım için Çizelge 1 ve Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 1. Gerilim için harmonik bozulma sınırları [19]

| PCC'de bara gerilimi V | Tekil Harmonik Büyüklüğü % | (Toplam Harmonik Distirsiyonu) THD (%) |
|------------------------|----------------------------|--|
| $V \leq 1kV$ | 5.0 | 8.0 |
| $1 < V \leq 69kV$ | 3.0 | 5.0 |
| $69 < V \leq 161kV$ | 1.5 | 2.5 |
| $161kV < V$ | 1.0 | 1.5 ^a |

^aYüksek voltajlı sistemler, nedeni gelecekteki kullanıcıların bağlanabileceği ağdaki noktalarda etkileri azalacak bir HVDC terminali olduğunda % 2.0 'a kadar THD'ye sahip olabilir.

Çizelge 2. 120 V ile 69 kV arasında derecelendirilen sistemler için akım bozulma limitleri [19]

| I _L yüzdesi olarak maksimum 224armonic akım bozulması | | | | | | |
|--|-----------------|------------------|------------------|------------------|-------------|-----|
| Bireysel 224armonic sıra (tek harmonikler) ^{a, b} | | | | | | |
| I_{sc}/I_L | $3 \leq h < 11$ | $11 \leq h < 17$ | $17 \leq h < 23$ | $23 \leq h < 35$ | $35 \leq h$ | THD |

| | | | | | | |
|----------|------|-----|-----|-----|-----|-------------|
| <20° | 4.0 | 2.0 | 1.5 | 0.6 | 0.3 | 5.0 |
| 20<50 | 7.0 | 3.5 | 2.5 | 1.0 | 0.5 | 8.0 |
| 50<100 | 10.0 | 4.5 | 4.0 | 1.5 | 0.7 | 12.0 |
| 100<1000 | 12.0 | 5.5 | 5.0 | 2.0 | 1.0 | 15.0 |
| >1000 | 15.0 | 7.0 | 6.0 | 2.5 | 1.4 | 20.0 |

^aÇift harmonikler, yukarıdaki tek 225armonic limitlerinin %25'i ile sınırlıdır.
^bBir dc ofsetiyle sonuçlanan mevcut bozulmalara, örneğin yarım dalga dönüştürücülere izin verilmez.
^cTüm güç üretim ekipmanı, gerçek I_{sc}/I_L 'den bağımsız olarak bu akım bozulma değerleriyle sınırlıdır.

Çizelge 2. Devamı

3. Araştırma ve Bulgular

Cam sanayisinde ve modern bir un üretim tesisinde bulunan değirmenlerde gerçekleştirilen ölçümlerde üç faz için elde edilen temel güç parametre ve harmonik bozulma değerleri Çizelge 3, Çizelge 4, Çizelge 5 ve Çizelge 6'da verilmiştir. Çizelgelerden de görüldüğü üzere ölçüm yapılan tesislerde %THD₁ değerleri IEEE 519-2014 harmonik standartını aşmıştır. Ölçüm sonuçları incelendiğinde un üretim tesisinde dPF değeri ile PF değeri arasındaki en büyük fark 0.529 ve 0.527'dir. Bu değerler %THD₁ değeri %187.373 ve %238.192 iken ölçülmüştür. En küçük fark ise 0.041'dir ve %THD₁ değeri %28.987 iken ölçülmüştür. Çizelge 6 incelendiğinde ise cam sanayi tesisinde dPF değeri ile PF değeri arasındaki en büyük fark 0.244'dür ve bu değer %THD₁ değeri %86.712 iken ölçülmüştür. En küçük fark ise 0.079'dur ve %THD₁ değeri %41.368 iken ölçülmüştür.

Çizelge 3. Un üretim tesisinde birinci fazda ölçülen temel güç ve harmonik değerleri

| Parametreler / Değirmenler | Değirmen 1 | Değirmen 2 | Değirmen 3 | Değirmen 4 | Değirmen 5 |
|---------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| V _{rms} (V) | 225.738 | 226.949 | 226.703 | 226.473 | 226.352 |
| U ₁₂ (V) | 390.922 | 393.754 | 394.037 | 373.775 | 393.139 |
| I _{rms} (A) | 48.967 | 40.091 | 20.210 | 37.605 | 41.933 |
| P (W) | 10112 | 5727 | 2199 | 5150 | 5827 |
| S (VA) | 11054 | 9099 | 4582 | 8516 | 9492 |
| Q (Var) | 4465 | 7070 | 4019 | 6783 | 7493 |
| dPF (displacement power factor) | 0.967 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 0.999 |
| PF (power factor) | 0.915 | 0.629 | 0.480 | 0.605 | 0.614 |
| THD ₁ (%) | 33.841 | 123.271 | 180.068 | 132.097 | 128.761 |
| THD _v (%) | - | - | - | - | - |

Çizelge 4. Un üretim tesisinde ikinci fazda ölçülen temel güç ve harmonik değerleri

| Parametreler / Değirmenler | Değirmen 1 | Değirmen 2 | Değirmen 3 | Değirmen 4 | Değirmen 5 |
|----------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| V _{rms} (V) | 227.496 | 226.625 | 227.038 | 226.837 | 226.869 |
| U ₂₃ (V) | 392.802 | 391.586 | 392.144 | 391.784 | 391.891 |
| I _{rms} (A) | 47.967 | 15.235 | 15.536 | 16.523 | 14.197 |
| P (W) | 9971 | 1606 | 1975 | 1743 | 1575 |
| S (VA) | 10674 | 3453 | 3527 | 3748 | 3221 |
| Q (Var) | 3811 | 3057 | 2922 | 3318 | 2810 |

| | | | | | |
|---------------------------------|--------|---------|---------|---------|---------|
| dPF (displacement power factor) | 0.986 | 0.994 | 0.998 | 0.988 | 0.995 |
| PF (power factor) | 0.934 | 0.465 | 0.56 | 0.465 | 0.489 |
| THD _i (%) | 33.186 | 187.373 | 148.992 | 185.526 | 176.075 |
| THD _v (%) | - | - | - | - | - |

Çizelge 4. Devamı

Çizelge 5. Un üretim tesisinde üçüncü fazda ölçülen temel güç ve harmonik değerleri

| Parametreler / Değirmenler | Değirmen 1 | Değirmen 2 | Değirmen 3 | Değirmen 4 | Değirmen 5 |
|---------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| V _{rms} (V) | 225.279 | 226.651 | 227.340 | 227.057 | 227.331 |
| U ₁₃ (V) | 391.256 | 392.685 | 393.396 | 392.689 | 393.532 |
| I _{rms} (A) | 53.765 | 13.384 | 14.423 | 15.123 | 13.234 |
| P (W) | 11.387 | 976 | 1076 | 1148 | 1025 |
| S (VA) | 12112 | 3033 | 3279 | 3434 | 3009 |
| Q (Var) | 4129 | 2872 | 3097 | 3236 | 2829 |
| dPF (displacement power factor) | 0.981 | 0.849 | 0.847 | 0.845 | 0.847 |
| PF (power factor) | 0.940 | 0.322 | 0.328 | 0.334 | 0.341 |
| THD _i (%) | 28.987 | 238.192 | 230.865 | 224.052 | 220.291 |
| THD _v (%) | - | - | - | - | - |

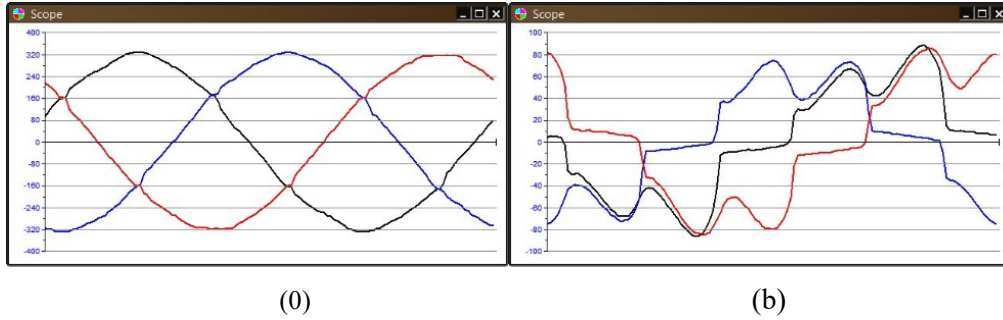
Çizelge 6. Cam sanayisinde üç fazda ölçülen temel güç ve harmonik değerleri

| Cam Sanayi Ölçüm | Ölçüm1 Faz 1 | Ölçüm1 Faz 2 | Ölçüm1 Faz 3 | Ölçüm2 Faz 1 | Ölçüm2 Faz 2 | Ölçüm2 Faz 3 | Ölçüm3 Faz 1 | Ölçüm3 Faz 2 | Ölçüm3 Faz 3 |
|---------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| V _{rms} (V) | 224.350 | 224.106 | 222.605 | 224.723 | 224.150 | 222.257 | 227.276 | 226.637 | 209.244 |
| U ₁₂ (V) | 388.589 | 387.718 | 385.979 | 388.180 | 387.193 | 387.027 | 386.504 | 381.387 | 380.411 |
| I _{rms} (A) | 14.331 | 14.335 | 13.781 | 14.702 | 14.226 | 13.927 | 50.630 | 48.683 | 46.824 |
| P (W) | 2439 | 2411 | 2279 | 2490 | 2372 | 2299 | 10463 | 9734 | 8768 |
| S (VA) | 3215 | 3213 | 3068 | 3304 | 3189 | 3098 | 11507 | 11033 | 9798 |
| Q (Var) | 2095 | 2123 | 2053 | 2171 | 2131 | 2076 | 4790 | 5194 | 4371 |
| displacement power factor (dPF) | 0.990 | 0.979 | 0.983 | 0.988 | 0.980 | 0.986 | 0.988 | 0.965 | 0.980 |
| power factor (PF) | 0.759 | 0.750 | 0.743 | 0.754 | 0.744 | 0.742 | 0.909 | 0.882 | 0.895 |
| THD _i (%) | 82.881 | 82.784 | 85.369 | 83.847 | 84.945 | 86.712 | 41.360 | 42.961 | 43.730 |
| THD _v (%) | - | - | - | - | - | - | 2.030 | 2.266 | 2.353 |

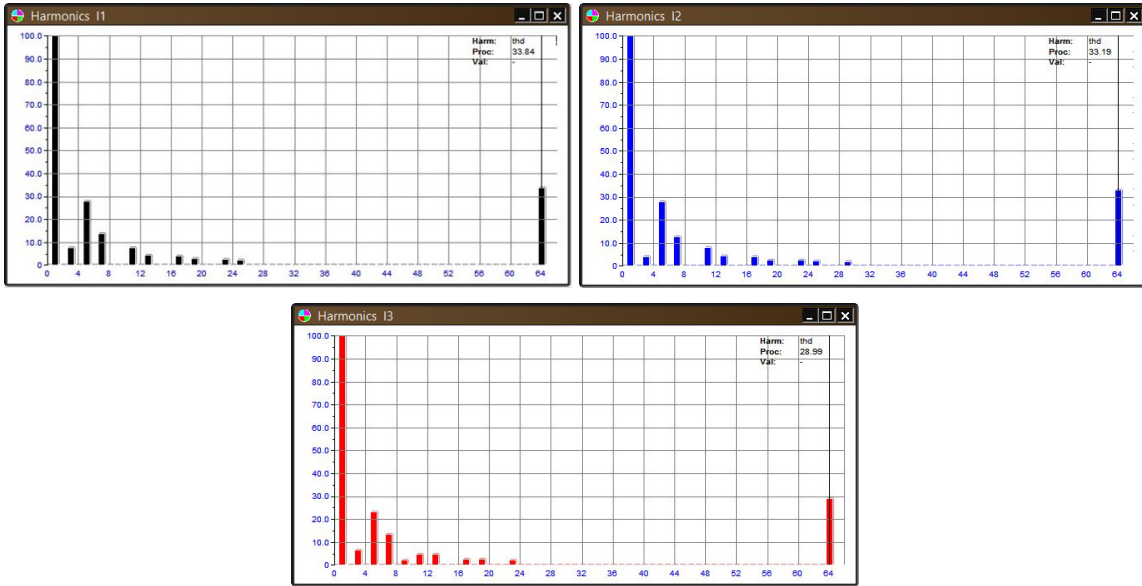
Modern bir un üretim tesisinde bulunan değirmenlerde gerçekleştirilen üç faz ölçümlerin parametreleri Şekil 3, 6, 9, 12, 15'de görülmektedir. Şekil 4, 7, 10, 13, 16 (a)'da gerilim dalga şekli ve (b)'de akım dalga şekli görülmektedir. Şekil 5, 8, 11, 14, 17'de ise ifade edilen ölçümlerin akım için harmonik spektrumu görülmektedir.

| 1st phase | | 2nd phase | | 3rd phase | |
|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Ursm | UI_12 | Ursm | UI_23 | Ursm | UI_13 |
| 225.738 | 390.922 | 227.496 | 392.802 | 225.279 | 391.256 |
| thd(U) | S(kVA) | thd(U) | S(kVA) | thd(U) | S(kVA) |
| 0 | 11.054 | 0 | 10.674 | 0 | 12.112 |
| I_rsm | P(kW) | I_rsm | P(kW) | I_rsm | P(kW) |
| 48.967 | -10.112 | 46.921 | 9.971 | 53.765 | 11.387 |
| thd(I) | Q(kVAR) i | thd(I) | Q(kVAR) i | thd(I) | Q(kVAR) i |
| 33.841 | -4.465 | 33.186 | 3.811 | 28.987 | 4.129 |
| Pf i | dPf | Pf i | dPf | Pf i | dPf |
| 0.915 | 0.967 | 0.934 | 0.986 | 0.940 | 0.981 |
| Total info | | | | | |
| Stot(kW) | Qtot(kVAR) | Ptot(kW) | Pftot i | I null | |
| 11.77 | 3.48 | 11.25 | 0.96 | 98.63 | |

Şekil 3. Güç analizörü ile değirmen 1'de üç faz ölçüm değerleri



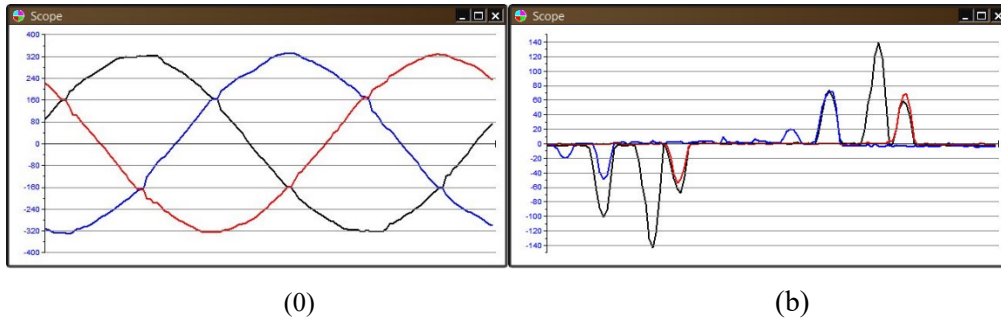
Şekil 4. Güç analizörü ile değirmen 1'de ölçülen üç faz (a) gerilim dalga şekli ve (b) akım dalga şekli



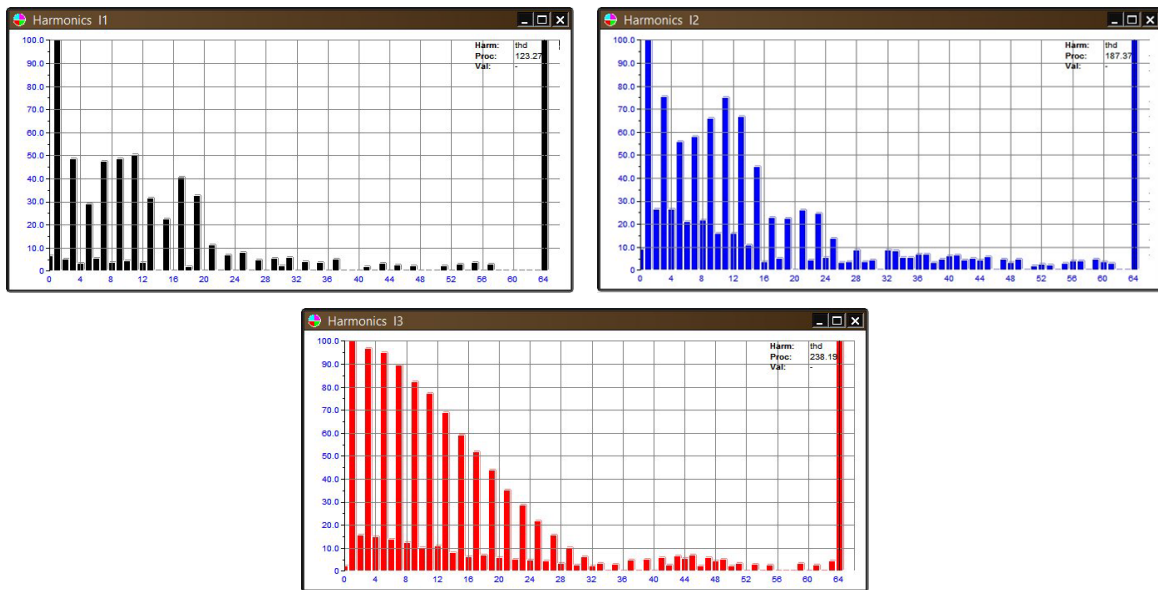
Şekil 5. Güç analizörü ile değirmen 1'de ölçülen her bir faz için akım harmonik spektrumu

| 1st phase | | 2nd phase | | 3rd phase | |
|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Ursm | UI_12 | Ursm | UI_23 | Ursm | UI_13 |
| 226.949 | 393.754 | 226.625 | 391.586 | 226.651 | 392.685 |
| thd(U) | S(kVA) | thd(U) | S(kVA) | thd(U) | S(kVA) |
| 0 | 9.099 | 0 | 3.453 | 0 | 3.033 |
| I_rsm | P(kW) | I_rsm | P(kW) | I_rsm | P(kW) |
| 40.091 | -5.727 | 15.236 | 1.606 | 13.384 | 0.976 |
| thd(I) | Q(kVAR) c | thd(I) | Q(kVAR) i | thd(I) | Q(kVAR) c |
| 123.271 | 7.070 | 187.373 | 3.057 | 238.192 | -2.872 |
| Pf c | dPf | Pf i | dPf | Pf c | dPf |
| 0.629 | 1.000 | 0.465 | 0.994 | 0.322 | 0.849 |
| Total info | | | | | |
| Stot(kW) | Qtot(kVAR) | Ptot(kW) | Pftot c | I null | |
| 7.91 | 7.26 | -3.14 | 0.40 | 53.29 | |

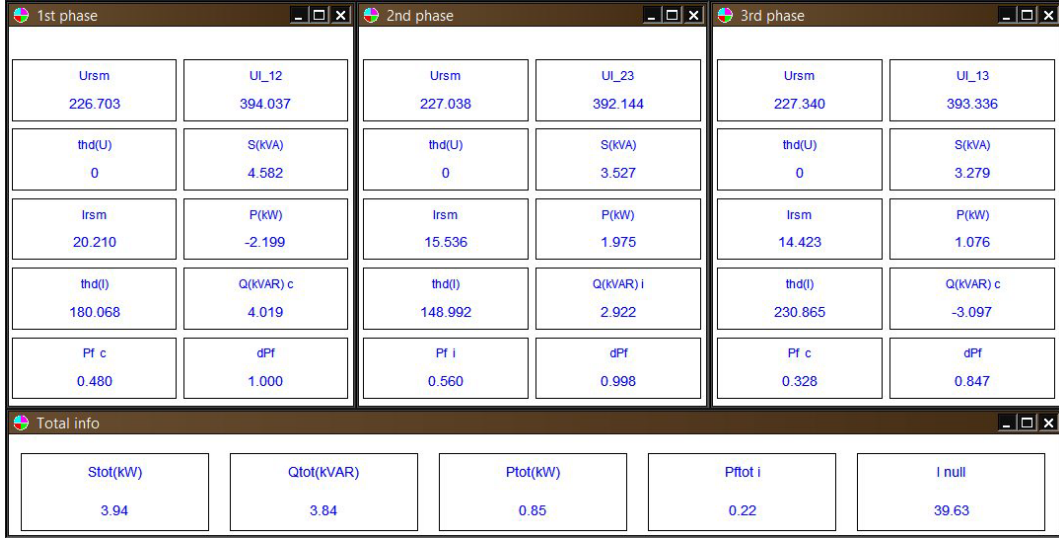
Şekil 6. Güç analizörü ile değirmen 2'de üç faz ölçüm değerleri



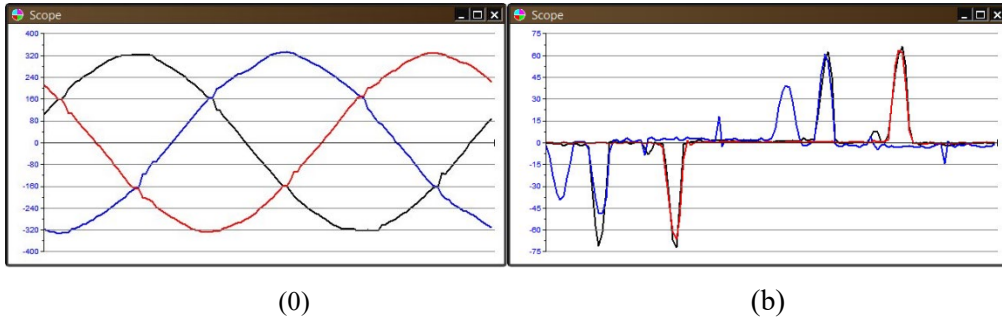
Şekil 7. Güç analizörü ile değirmen 2'de ölçülen üç faz (a) gerilim dalga şekli ve (b) akım dalga şekli



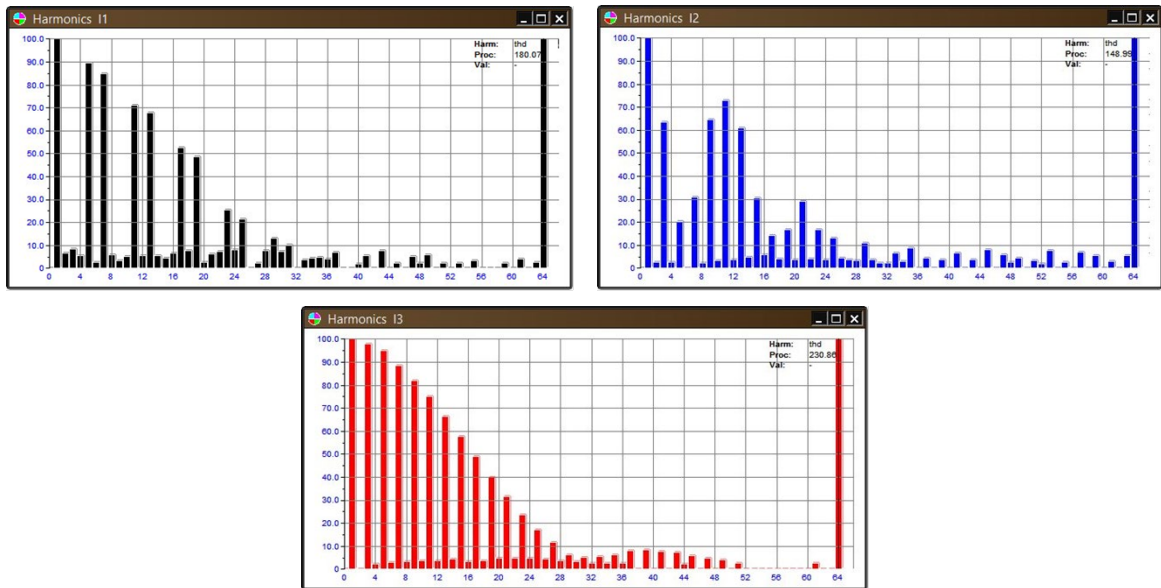
Şekil 8. Güç analizörü ile değirmen 2'de ölçülen her bir faz için akım harmonic spektrumu



Şekil 9. Güç analizörü ile değirmen 3'de üç faz ölçüm değerleri



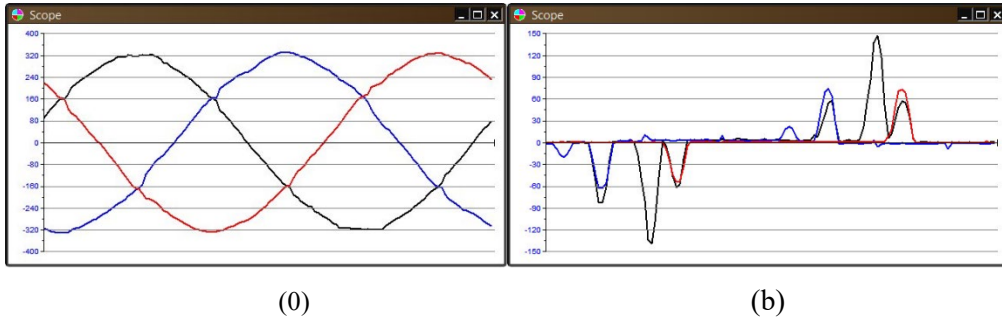
Şekil 10. Güç analizörü ile değirmen 3'de ölçülen üç faz (a) gerilim dalga şekli ve (b) akım dalga şekli



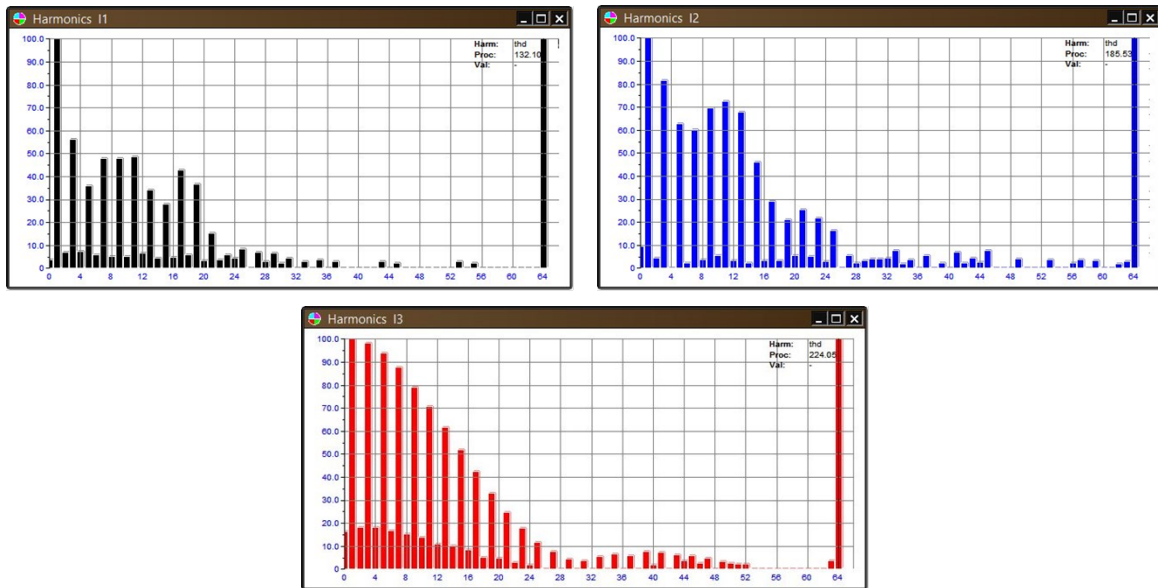
Şekil 11. Güç analizörü ile değirmen 3'de ölçülen her bir faz için akım harmonik spektrumu

| 1st phase | | 2nd phase | | 3rd phase | |
|------------------|------------|------------------|-----------|------------------|-----------|
| Ursm | UI_12 | Ursm | UI_23 | Ursm | UI_13 |
| 226.473 | 393.775 | 226.837 | 391.784 | 227.057 | 392.689 |
| thd(U) | S(kVA) | thd(U) | S(kVA) | thd(U) | S(kVA) |
| 0 | 8.516 | 0 | 3.748 | 0 | 3.434 |
| I _{rsm} | P(kW) | I _{rsm} | P(kW) | I _{rsm} | P(kW) |
| 37.605 | -5.150 | 16.523 | 1.743 | 15.123 | 1.148 |
| thd(I) | Q(kVAR) i | thd(I) | Q(kVAR) i | thd(I) | Q(kVAR) c |
| 132.097 | -6.783 | 185.526 | 3.318 | 224.052 | -3.236 |
| Pf i | dPf | Pf i | dPf | Pf c | dPf |
| 0.605 | 1.000 | 0.465 | 0.988 | 0.334 | 0.845 |
| Total info | | | | | |
| Stot(kW) | Qtot(kVAR) | Ptot(kW) | Pftot i | I null | |
| 7.07 | -6.70 | -2.26 | 0.32 | 51.91 | |

Şekil 12. Güç analizörü ile değirmen 4'de üç faz ölçüm değerleri



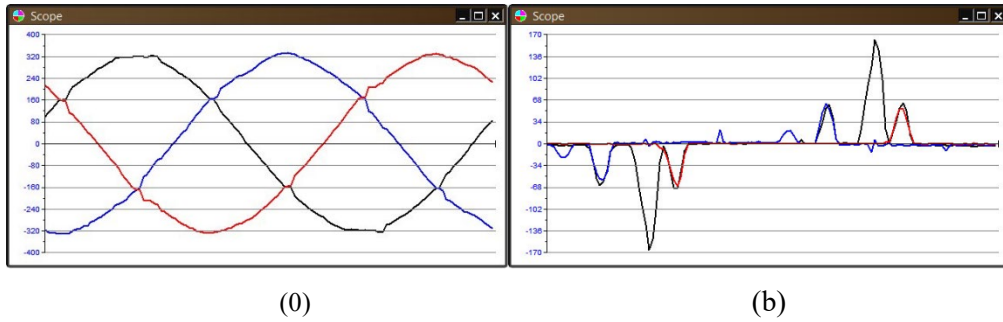
Şekil 13. Güç analizörü ile değirmen 4'de ölçülen üç faz (a) gerilim dalga şekli ve (b) akım dalga şekli



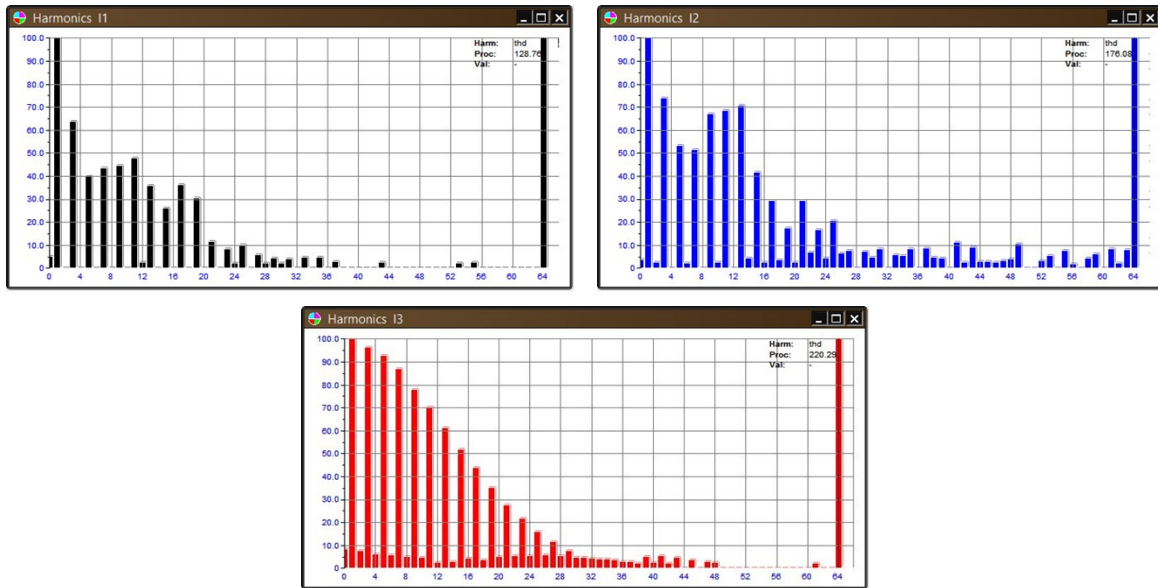
Şekil 14. Güç analizörü ile değirmen 4'de ölçülen her bir faz için akım harmonik spektrumu

| 1st phase | | 2nd phase | | 3rd phase | |
|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Ursm | UI_12 | Ursm | UI_23 | Ursm | UI_13 |
| 226.352 | 393.139 | 226.869 | 391.891 | 227.331 | 393.532 |
| thd(U) | S(kVA) | thd(U) | S(kVA) | thd(U) | S(kVA) |
| 0 | 9.492 | 0 | 3.221 | 0 | 3.009 |
| I_rsm | P(kW) | I_rsm | P(kW) | I_rsm | P(kW) |
| 41.933 | -5.827 | 14.197 | 1.575 | 13.234 | 1.025 |
| thd(I) | Q(kVAR) i | thd(I) | Q(kVAR) i | thd(I) | Q(kVAR) c |
| 128.761 | -7.493 | 176.075 | 2.810 | 220.291 | -2.829 |
| Pf i | dPf | Pf i | dPf | Pf c | dPf |
| 0.614 | 0.999 | 0.489 | 0.995 | 0.341 | 0.847 |
| Total info | | | | | |
| Stot(kW) | Qtot(kVAR) | Ptot(kW) | Pftot i | I null | |
| 8.18 | -7.51 | -3.23 | 0.39 | 52.87 | |

Şekil 15. Güç analizörü ile değirmen 5'de üç faz ölçüm değerleri



Şekil 16. Güç analizörü ile değirmen 5'de ölçülen üç faz (a) gerilim dalga şekli ve (b) akım dalga şekli

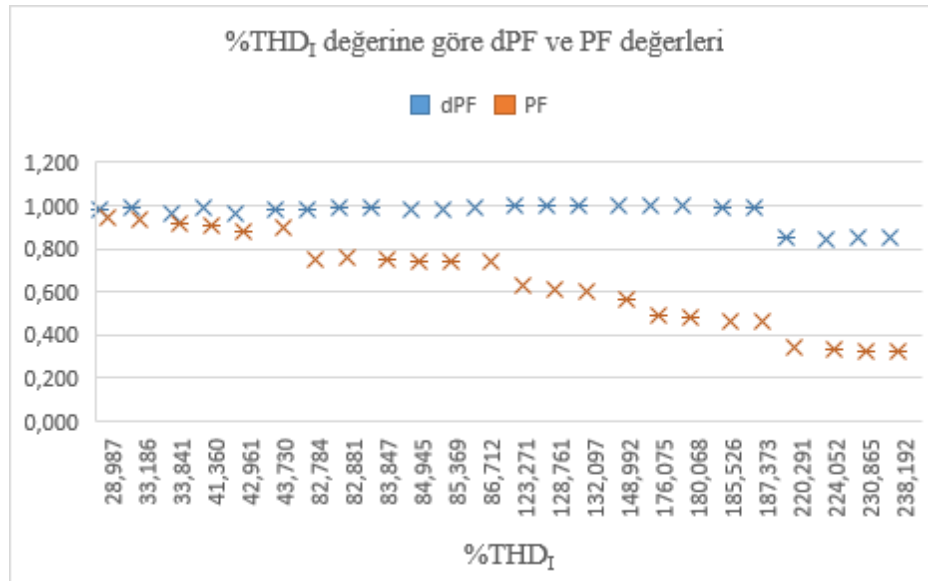


Şekil 17. Güç analizörü ile değirmen 5'de ölçülen her bir faz için akım harmonik spektrumu

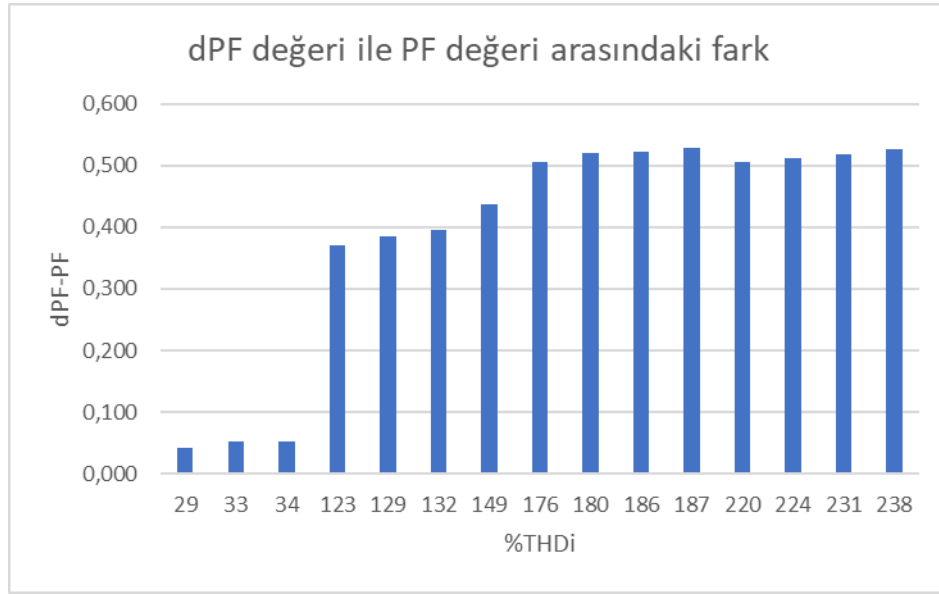
Çizelge 7'deki değerler göz önüne alındığında %THD₁ değerine bağlı olarak, Şekil 18'de dPF ile PF değerlerinin grafiği ve Şekil 19'da ise dPF değeri ile PF değeri arasındaki farkın grafiği verilmiştir.

Çizelge 7. %THD₁ değerine bağlı olarak dPF değeri ile PF değeri arasındaki fark

| Ölçümler | dPF | PF | THD ₁ (%) | dPF ile PF Arasındaki Fark |
|----------|-------|-------|----------------------|----------------------------|
| 1 | 0.981 | 0.940 | 28.987 | 0.041 |
| 2 | 0.986 | 0.934 | 33.186 | 0.052 |
| 3 | 0.967 | 0.915 | 33.841 | 0.052 |
| 4 | 0.988 | 0.909 | 41.360 | 0.079 |
| 5 | 0.965 | 0.882 | 42.961 | 0.083 |
| 6 | 0.980 | 0.895 | 43.730 | 0.085 |
| 7 | 0.979 | 0.750 | 82.784 | 0.229 |
| 8 | 0.990 | 0.759 | 82.881 | 0.231 |
| 9 | 0.988 | 0.754 | 83.847 | 0.234 |
| 10 | 0.980 | 0.744 | 84.945 | 0.236 |
| 11 | 0.983 | 0.743 | 85.369 | 0.240 |
| 12 | 0.986 | 0.742 | 86.712 | 0.244 |
| 13 | 1.000 | 0.629 | 123.271 | 0.371 |
| 14 | 0.999 | 0.614 | 128.761 | 0.385 |
| 15 | 1.000 | 0.605 | 132.097 | 0.395 |
| 16 | 0.998 | 0.560 | 148.992 | 0.438 |
| 17 | 0.995 | 0.489 | 176.075 | 0.506 |
| 18 | 1.000 | 0.480 | 180.068 | 0.520 |
| 19 | 0.988 | 0.465 | 185.526 | 0.523 |
| 20 | 0.994 | 0.465 | 187.373 | 0.529 |
| 21 | 0.847 | 0.341 | 220.291 | 0.506 |
| 22 | 0.845 | 0.334 | 224.052 | 0.511 |
| 23 | 0.847 | 0.328 | 230.865 | 0.519 |
| 24 | 0.849 | 0.322 | 238.192 | 0.527 |



Şekil 18. % THD₁ değerine göre dPF ile PF değerleri



Şekil 19. %THD₁ değerine bağlı olarak dPF değeri ile PF değeri arasındaki fark

[14] nolu çalışmada yapılan ölçüm sonuçları çizelge 8’de görülmektedir. Çizelge 8’de de görüldüğü üzere %THD₁’nin PF ve DPF üzerinde etkisi bulduğumuz sonuçlara oldukça benzemektedir.

Çizelge 8. %THD₁ değerine bağlı olarak dPF ve PF değerleri ve farkı

| Ölçümler | dPF | PF | THD ₁ (%) | dPF ile PF Arasındaki Fark |
|----------|------|------|----------------------|----------------------------|
| 1 | 0.99 | 0.62 | 123.1 | 0.37 |
| 2 | 0.98 | 0.56 | 141.3 | 0.42 |
| 3 | 0.97 | 0.46 | 183.9 | 0.51 |

4. Sonuçlar

Bu çalışmada harmonik içeren güç sistemlerinde harmoniklerin güç faktörüne olan etkisi, modern bir un tesisinde ve cam sanayisinde ölçümler yapılarak açıklanmıştır. IEEE 519-2014 harmonik standartları ile her iki tesisteki ölçüm sonuçlarını değerlendirdiğimizde ise %THD₁ değerlerinin standartın üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Yapılan ölçümler neticesinde %THD₁ değerinin artmasına bağlı olarak gerçek PF değerinin de azaldığı gözlemlenmiştir. Diğer bir ifade ile %THD₁ arttıkça dPF ile PF arasındaki fark da artmaktadır. Sonuçlardan da görüldüğü üzere güç kalitesinin en önemli parametrelerinden biri olan güç faktörünün, harmoniklerin etkisi nedeniyle azalmasından kaynaklı olarak elektrik enerjisi veriminde de önemli ölçüde bir düşüş olacaktır.

Kaynaklar

- [1] Silva, R., P., B., Quadros., R., Shaker, H., R., Silva., L., C., P. Harmonic Interaction Effects on Power Quality and Electrical Energy Measurement System, 2019 International Symposium on Advanced Electrical and Communication Technologies (ISAECT), 27-29 November, Rome, Italy, 2019.
- [2] Zobia, A., F. Comparing Power Factor and Displacement Power Factor Corrections Based on IEEE Std. 18-2002. 2004 11th International Conference on Harmonics and Quality of Power, September 12-15, Lake Placid, NY, USA, 2004.
- [3] Camui, C., C., Petre, V. and Boicea, V. Power Factor Correction: a Hands-on Introduction for Students, 2020 International Conference and Exposition on Electrical And Power Engineering (EPE), October 22-23, Iasi, Romania, 2020.
- [4] Apetrei, D., Chicco, G., Neurohr, R., Albu, M., M. and Postolache, P. Power quality monitoring. Data relevance and usefulness, Melecon 2010-2010 15th IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference, April 26-28, Valletta, Malta, 2010.
- [5] Olaru, D., Floricau, D. Model Analysis for Sinusoidal Power Factor Corrector. U.P.B. Sci. Bull., Series C, Vol. 74, Iss. 4, 2012.
- [6] Kutija M. and Pravica L. Electric Power Quantities in the Presence of Harmonics-Case Study. 2021 IEEE 19th International Power Electronics and Motion Control Conference (PEMC), April 25-29, Gliwice, Poland, 2021.
- [7] Blaabjerg, F., Chen, Z., and Kjaer, S., B. Power electronics as efficient interface in dispersed power generation systems. IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 19, no. 5, pp. 1184–1194, 2004.
- [8] Gallo, D., Landi, C., Pasquino, N. and Polese, N. A new methodological approach to quality assurance of energy meters under nonsinusoidal conditions. 2006 IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference Proceedings, April 24-27, Sorrento, Italy, 2007.
- [9] Mirabbasi, D., Seifossadat, G. and Heidari, M. Effect of Unbalanced Voltage on Operation of Induction Motors and Its Detection, 2009 International Conference on Electrical and Electronics Engineering-ELECO 2009, November 5-8, Bursa, Turkey, 2009.
- [10] Azzam-Jai, A. and Ouassaid, M. A Multifunctional PV-Based Shunt Active Power Filter Using Neural Network Controller, 2018 International Symposium on Advanced Electrical and Communication Technologies (ISAECT), November 21-23, Rabat, Morocco, 2018.
- [11] Grady, W., M., Gilleskie, R., J. Harmonics And How They Relate To Power Factor, Proc. of the EPRI Power Quality Issues & Opportunities Conference (PQA'93), November, San Diego, CA, 1993.
- [12] Turkay, B. Harmonic Filter Design and Power Factor Correction in a Cement Factory. 2001 IEEE Porto Power Tech Proceedings (Cat. No.01EX502), September 10-13, Porto, Portugal, 2001.
- [13] Rauber A. and Bakker P. Adjustable Speed Drive System Comparison VSI And LCI For High Power Applications, 2018 IEEE Petroleum and Chemical Industry Technical Conference (PCIC), September 24-26, Cincinnati, OH, USA, 2018.
- [14] Da Silva R. P. B., Quadros R., Shaker H. R. and da Silva L. C. P. Harmonic Interaction Effects on Power Quality and Electrical Energy Measurement System, 2019 International Symposium on Advanced Electrical and Communication Technologies (ISAECT), November 27-29, Rome, Italy, 2019.

- [15] Adak S., Cangi H. and Yılmaz A. S. Doğrusal Olmayan Yüklerde Güç Faktörünün Düzeltilmesi ve Harmonik Bileşenlerin Süzülmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 7(1): 153-164, 2019.
- [16] Wakileh, J. G., *Power Systems Harmonics: Fundamentals, Analysis and Filter Design*, Springer, 1st Edition, New York, 2001.
- [17] IEEE Standard Definitions for the Measurement of Electric Power Quantities Under Sinusoidal, Nonsinusoidal, Balanced, or Unbalanced Conditions, IEEE Std 1459-2010.
- [18] Comanescu, M. Estimation of THD, Harmonic Components and Power Factor in Three-Phase Rectifiers, 2020 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT), 26-28 February, Rome, Italy, 2020.
- [19] IEEE Std 519™-2014 (Revision of IEEE Std 519-1992). IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems, Institute of Electrical Electronics Engineers, Inc., New York, USA, 2014.

DONATILI GAZ BETON PANELLERİN ASİT VE SÜLFAT ETKİSİ ALTINDA EĞİLME DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Derya BAKBAK*

TBMM, Ankara, Türkiye

Geliş Tarihi/Received Date: 12.10.2021 Kabul Tarihi/Accepted Date: 09.02.2022 DOI: 10.54365/adyumbd.1008763

ÖZET

Bu çalışmada donatılı gaz beton panellerin asit, sülfat ve normal koşullarda eğilme davranışı incelenmiştir. Bu amaçla özel olarak üretilmiş donatılı gaz beton paneller 6 ay süreyle %5 asit ve %5 sülfat tankında tutulmuş ve daha sonra deplasman kontrollü yükleme cihazı ile yükleme yapılarak eğilme davranışı incelenmiştir. Kontrol numunesi olan donatılı gaz beton panel ise normal koşullarda saklanmış aynı eğilme deneyi ile mekanik davranışı elde edilmiş ve bu 3 panelin eğilme davranışı karşılaştırılmıştır. Bunun dışında asit ve sülfat etkisi altında donatılıların korozyonu da incelenmiştir. Sonuç olarak, asitin eğilme dayanımı üzerine çok olumsuz bir etki gösterdiği görülmüştür. Eğilme yükü donatılı gaz beton panellerde normal koşullar altında tutulmuş numunede 44.5 kN, sülfata maruz kalan panelde 39.5 kN ve asite maruz panelde ise 21 kN olarak bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Donatılı gaz beton panel, Eğilme davranışı, Asit etkisi, Sülfat etkisi, Paslanma.

INVESTIGATION OF FLEXURAL BEHAVIOR OF REINFORCED AERATED CONCRETE PANELS EXPOSED TO ACID AND SULPHATE

ABSTRACT

This study presents the mechanical behaviour of reinforced aerated concrete panels under acid and sulphate attack. 3 reinforced aerated concrete panels are used in the test program where one was submerged to sulphuric acid (5%), the other one submerged to magnesium (5%) and the last one as control specimen was kept in ambient conditions for 6 months. The panels were tested under flexural loading and the load deflection graphs were compared to determine the effect of acid and sulphate on mechanical characteristics. Moreover the corrosion potential of reinforcement was also evaluated. As a result of the findings, it was seen that the acid effect had a very negative effect on the flexural strength of the reinforced gas concrete panels. The bending load of the reinforced aerated concrete panel under normal conditions was 44.5 KN, the bending load of the sulfate-reinforced aerated concrete panel was 39.5 KN, and the flexural load of the acid-exposed aerated concrete panel was 21 KN.

Keywords: Reinforced Aerated concrete panels, Flexural testing, Acid attack, Sulphate attack, Corrosion.

1. Giriş

Gazbeton, hava katkısıyla birlikte hava boşluklarının gazbeton harcının içinde sıkıştırıldığı hafif beton olarak sınıflandırılan çimento veya kireç harcıdır. Genellikle gazbeton, gözenekli beton sınıfında konumlandırılır. Gazbetonun öne çıkan avantajı temel ve alt katlar dahil olmak üzere taşıyıcı elemanları ekonomikleştirmeyi sağlayan hafifliğidir. Gözenekli yapısı sayesinde yüksek derecede ısı ve malzeme tasarrufu sağlar. Uygun üretim yöntemleriyle, çok çeşitli yoğunluklarda (300 – 1800 kg/m³) üretilebilir ve böylece özel uygulamalar için gerekli malzemeleri üretme esnekliği sağlar.

* e-posta¹ : derya.bakbak@tbmm.gov.tr ORCID ID: <https://orcid.org/000-0002-3771-8812> (Sorumlu Yazar)

Literatürde gaz beton üzerine önemli araştırmalar yapılmıştır. Bu araştırmalar sonucunda gaz betonun ısı ve ses yalıtımı iyileştirdiği yapının ölü yükünü azaltarak temel yapı işlerinde donatı ve beton miktarını azalttığı ve işçilik maliyetinden tasarruf sağladığı görülmektedir [1-4].

Gazbetonda bağlayıcı madde olarak kum (Kuars), alçı (kalsine), kireç (mineral), su ve / veya çimento kullanılır. Genleşme ajanı olarak genel olarak alüminyum tozu hacminin%0,05-%0,08'i arasında değişen oranlarda kullanılır. Gazbeton karışımının karıştırılması ve dökümü sırasında birkaç kimyasal reaksiyon gerçekleşir. Bu kimyasal reaksiyonlar, Gazbetonun hafif olmasının nedenidir. Alüminyum tozu, kalsiyum hidroksit (CA (OH) 2) ve su ile reaksiyona girerek hidrojen gazı oluşturur ve bu da ham karışımın hacmini köpükler ve iki katına çıkararak çapı 3 mm'ye (1/8 inç) kadar gaz kabarcıkları oluşturur. Köpürtme işleminin sonunda, hidrojen atmosfere kaçar ve yerini hava alır ve dolayısıyla hafif beton elde edilmiş olur[4].

Hamad'a [5], göre hafif beton, daha yüksek mukavemet-ağırlık oranına, daha iyi gerilme gerinim taşıma kapasitesine, daha düşük ısıl genleşme katsayısına ve içinde bulunan hava boşlukları nedeniyle daha iyi ısı ve ses yalıtım özelliklerine sahip olması nedeniyle büyük avantajlar içermektedir[5].

Gazbeton kullanarak yapı malzemelerinin ölü yükünde azalma elde edilebilir ki bu da betonun hafif olması nedeniyle donatı miktarını azaltılabilir. Gazbeton, uçucu kül kullanımıyla CO2 emisyonlarını, tarımsal toprak erozyonunu ve su kirliliğini azaltarak sürdürülebilir bir ortam yaratılmasına yardımcı olur. Gazbeton, normal kil tuğlalara göre daha hafiftir, bu nedenle nakliyesi daha basit ve ekonomiktir. Daha hafif ağırlık, inşaatı daha kolay ve daha hızlı hale getirir. Gazbeton ayrıca kolay uygulanabilirliği, zararlılara ve neme dayanıklı olması, üretim sürecinde atık üretilmemesi, yaklaşık %60 ila 75 oranında uçucu kül kullanılabilmesi, daha düşük nakliye maliyetleri, dış etkilere karşı dayanıklı olması gibi sebeplerden ötürü önemli avantajlar sağlamaktadır [4].

1.1. Gazbetonun Sınıflandırılması

Günümüzde gazbeton birçok farklı yöntemle etkili şekilde üretilmektedir. Bu yöntemler şu şekilde sıralanabilir:

Hava Sürüklenme Yönteminde, kireç veya çimento harcı sıvı haldeyken veya plastikleşme aşamasındayken, gaz oluşturan kimyasalların harca katılmasıyla birlikte gazbeton harcının hacminde artış gözlenir ve çıkan gazlar harçta gözenekli bir yapı oluşturur. Bunların içerisinde alüminyum tozu en yaygın kullanılan hava sürükleyicidir. Alüminyum tozu işleminin verimliliği, tozun inceliğinden, çimentonun saflık ve alkalilik durumundan ve harç sertleşmeden önce gazın kaçmasını önlemek için alınan önlemlerden etkilenir. Portland çimentosu gibi düşük alkaliliğe sahip çimentolara, gerekli alkali takviyesi için sodyum hidroksit veya kireç ilavesi yapılır [3].

Köpürtme Yöntemi kimyasal reaksiyon olmadığı için en ekonomik ve kontrol edilebilir gözenekli yapı oluşturma sürecidir. Gözeneklerin mekanik olarak oluşturulması önceden köpüren (köpük yapıcı katkı maddesi bir miktar su ile karıştırılır) veya köpük karışımı (köpük yapıcı katkı maddesi harç ile karıştırılır) ile yapılır. Kullanılan çeşitli köpük yapıcı katkı malzemeleri, deterjan, reçine sabunu, tutkal reçinesi, saponin ve keratin gibi hidrolize edilmiş proteinlerdir [3].

Birleşik Gözenek Oluşturma Yöntemindeköpürtme ve hava sürüklenme yöntemlerinin birleştirilerek uygulanır [3].

Kürleme metoduna göre ise geleneksel betondan farklı olarak gazbeton, otoklavlı ve otoklavsız olarak üretilir. Basınç dayanımı, rötre, soğurma gibi özellikler direkt olarak bu kürleme yöntemine bağlıdır. Otoklavlanmanın gazbetonda rötreyi önemli ölçüde azaltması ve erken dayanımı artırması üretim açısından büyük önem taşımaktadır[1,3,4,6].

1.2. Gazbetonun Dayanıklılığı

Gözenekli oluşu nedeniyle, Gazbetona sıvılar ve gazlar daha kolay nüfuz edebilir ve bu da malzemenin daha kolay zarar görmesine neden olur[7]. Gazbetonun gözenekli yapısı aynı zamanda donma-çözünme etkisinin daha malzemede daha kritik yaşanmasına da sebep olmaktadır. Bu iki risk donatılı gazbeton yapı elemanlarında donatı korozyonu açısından da büyük sorunlar doğurmaktadır.

Gazbeton sülfat konsantrasyonu 600 mg/1 değerinden büyük olduğunda genellikle kullanılmaz. Bu şartlarda kullanılması gerekiyorsa, özel koruyucu önlemler alınmalıdır. Mesela toprak altında Gazbeton kullanımında, gazbetonu korumak için olası önlemler koruyucu kaplamalar ve yapıştırıcı ile bağlanmış veya kaynaklanmış folyolardır. Uygulanan malzemeler genellikle bitüm esaslıdır [7].

Genellikle çimento esaslı yapı malzemeleri güçlü asitlere maruz kaldığında ciddi zarar görür. Asetik, oksalik, tartarik vb. organik asitler, hidroklorik, nitrik, sülfürik vb. gibi inorganik asitlere göre daha hızlı hasara neden olur. Klorürler veya sülfatlar gibi asit tuzu çözeltileri de uzun vadede Gazbetonu aşındırabilir. Bu maddeler kalsiyum silikat hidrat fazlarını tahrip eder ve dolayısıyla mukavemeti azaltır. Dolayısıyla bu tür maddelerin bulunduğu yerlerde, uygun koruma sağlanmalıdır-örneğin, dış kaplamalar için izosiyanatların eklendiği akrilatlar ve iç kaplamalar için epoksi reçineler[7].

Gazbeton normalde alkali solüsyonlardan etkilenmez. Alkalinitesinden dolayı soda veya amonyak gibi kostik çözeltileri malzemeyi tahrip edebilen çözümler bileşikler oluşturmaz. Alkol, benzen veya fuel oil gibi maddeler gazbetona zarar vermez.

Gazbeton, uzun süreli maruziyette bile genellikle suya dayanıklıdır. Ancak akan su ile temas halinde ise önlemler alınmalıdır. Nem içeriği arttıkça bazı özellikler olumsuz etkilenir[7].

Gazbeton, su ile asidik çözeltiler oluşturmayan gazlardan etkilenmez. Bununla birlikte, olumsuz etkisi olabilecek iki tür gaz karbondioksit ve sülfür dioksittir. Karbondioksit, kalsiyum karbonat karışımları oluşturmak için kalsiyum silikat hidratlarla reaksiyona girer. Gaz konsantrasyonu yeterince yüksekse veya gaza uzun süre maruz kalırsa, büzülme meydana gelebilir ve çatlak oluşumuna neden olabilir. Bu tür yüksek karbon dioksit konsantrasyonları, örneğin fermantasyonun gerçekleştiği odalarda veya meyve depolarında meydana gelebilir. Karbondioksite aşırı maruz kalmama durumunda çatlama meydana gelmez. Karbondioksitten kaynaklı aşınma, gazbeton denge nem içeriğine ulaşırsa veya su ile doymuşsa oldukça yavaş gerçekleşir [7].

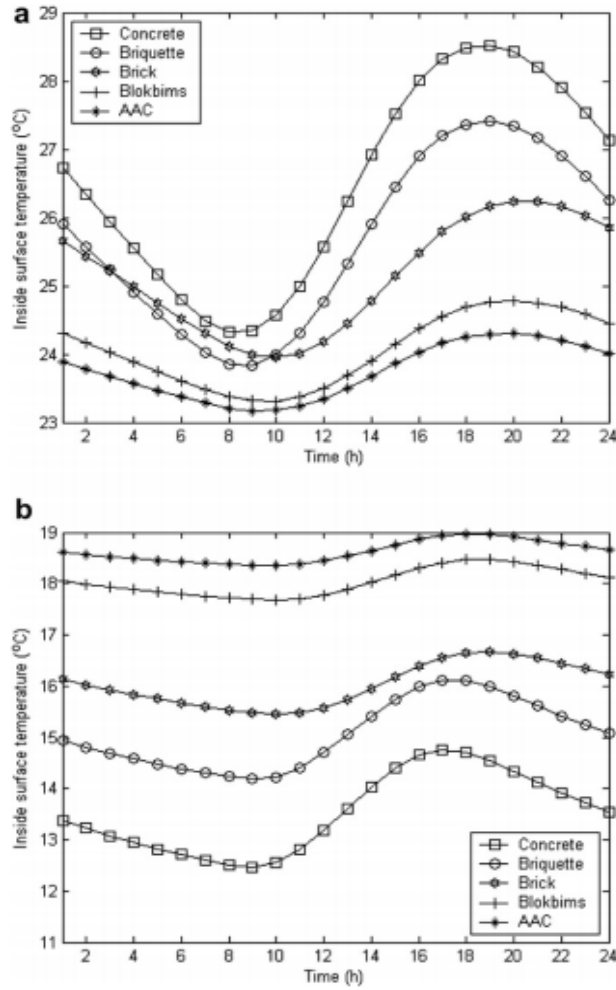
1.3. Donatılı Gazbeton Paneller

Gazbeton paneller yapı maliyeti noktasında ve birçok açıdan avantaj sağlayan hafif prekast yapı elemanlarıdır. Adından da anlaşılacağı gibi hafif beton (gazbeton) paneller, geleneksel beton paneller göre oldukça hafiftir. Bu durum daha düşük ısı genleşme katsayısı ve daha iyi ısı ve ses yalıtım özellikleri gibi avantajları beraberinde getirmektedir. Şekil 1. de Gazbeton panellerin diğer alternatif yapı malzemelerine göre yaz ve kış aylarındaki ısı izolasyonu performansları karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. Görüldüğü gibi gazbeton blokların daha iyi performans gösterdiği görülmektedir [8].

Kömür bazlı termik santrallerde kaçınılmaz bir atık olan uçucu kül kullanılarak üretilen için çevre dostu bir üründür. Gazbeton paneller önemli ölçüde daha az yüzey işlemi gerektirir [4].

İlk donatılı gazbeton paneller İsveç de 1929 yılından sonra üretilmeye başlanmış, 1940'ların ortasında Alman mühendis Josef Hebel tarafından ileri bir aşamaya taşınmıştır [9].

Donatılı Gazbeton paneller üzerine en kapsamlı deneysel çalışmalar 2003 yılında Texas Austin Üniversitesinde yapılan çalışmalardır [10,11]. Bunun dışında 2016 ve 2017 yıllarında ise ODTÜ İnşaat mühendisliğinde Gazbeton blokların sismik davranışı detaylı olarak incelenmiştir [12]. Ayrıca donatılı gaz betonların mekanik davranışının modellenmesi konusunda da çalışmalar mevcuttur [13,14].



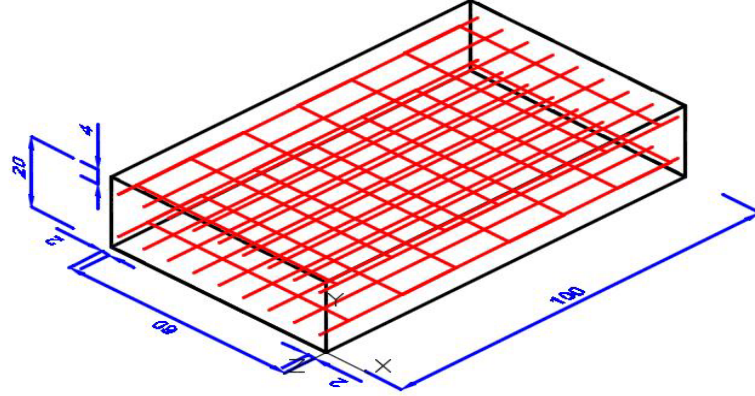
Şekil 1. Gazbeton panellerin ısı izolasyon performansı (AAC:Gazbeton, Brick:tuğla, Concrete:beton, Briquette:briket, Blokbims:bims) [9].

2. Materyal ve Metod

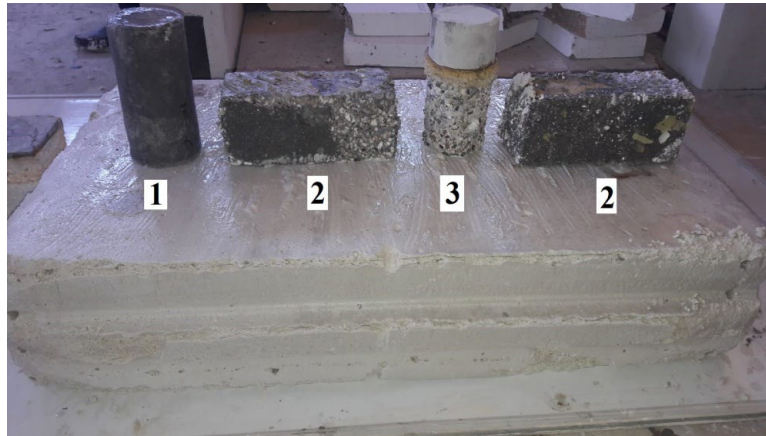
Bu çalışmada donatılı gazbeton panellerin asit, sülfat ve normal koşullarda eğilme davranışı karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Kullanılan donatılı gazbeton paneller Gaziantep YTONG firması tarafından özel olarak üretilmiştir. Bu amaçla %5'lik asit ve sülfat karışımları hazırlanarak donatılı gazbeton paneller asit ve sülfat tanklarına konarak 6 ay bekletilmiştir. Kontrol numunesi normal şartlarda bekletilmiştir. Kullanılan donatılı gazbeton panellerin boyut ve donatı şeması (cm olarak) şekil 2 de verilmiştir. Kullanılan donatı çapı 4 mm dir. Asit ortamında bekletilen donatılı gazbeton panellerin dışında farklı yapı malzemelerinin değişimi Şekil 3 de görülebilir. 6 ay süreyle aside maruz donatılı gazbeton panellerde görülen korozyon Şekil 4 de görülebilir. 6 ay süreyle sülfata maruz donatılı gazbeton panelin dış görünümü şekil 5 de, normal beton yapı elemanının dış görünümü ise şekil 6 da verilmiştir. 6 ay süreyle sülfata maruz donatılı gazbeton panellerde görülen korozyon Şekil 7 de görülebilir.

Asit ortamında bekletilen donatılı gazbeton panelin yükleme sonucunda kırılma ve çatlak gelişimi Şekil 8 de detaylı olarak verilmiştir. Yükleme deplasman kontrollü 500 kN kapasiteli BESMAK marka bir cihazla yapılmış olup a/d oranı 5, yükleme hızı ise 1 mm/dak olarak uygulanmıştır. Aynı yükleme altında sülfat ortamında bekletilen donatılı gazbeton panelin kırılma ve

çatlak gelişimi ise Şekil 9 de detaylı olarak verilmiştir. Normal koşullarda bekletilen donatılı gazbeton panelin kırılma ve çatlak gelişimi ise Şekil 10 de detaylı olarak verilmiştir. Bunun dışında aside maruz, sülfata ve normal koşullardaki, donatılı gazbeton panellerin yük deplasman grafikleri şekil 11,12,13 de ayrı ayrı gösterilmiştir. Karşılaştırmalı yük deplasman grafiği ise şekil 14 de görülebilir.



Şekil 2. Panel boyut ve donatı detayları



Şekil 3. 180 gün asit ortamında bekletilen donatılı gazbeton panel ve farklı yapı malzemelerinin değişimi (1. ECC-Tasarlanmış çimento kompoziti, 2. Jeopolimer 3. Normal beton)



Şekil 4. 180 gün asit ortamında bekletilen donatılı gazbeton paneldeki korozyon



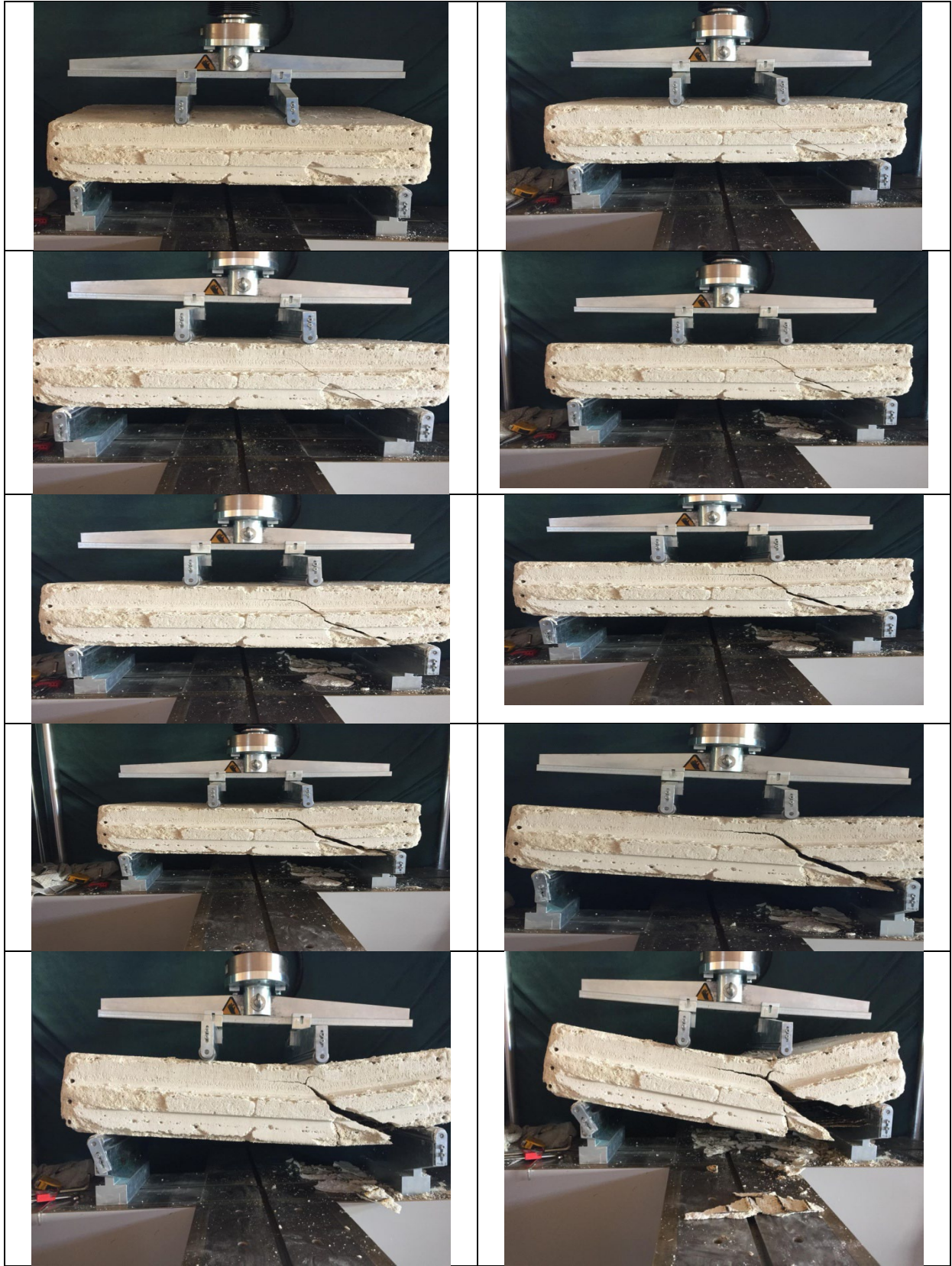
Şekil 5. 180 gün sülfat ortamında bekletilen donatılı gazbeton panelin görünümü.



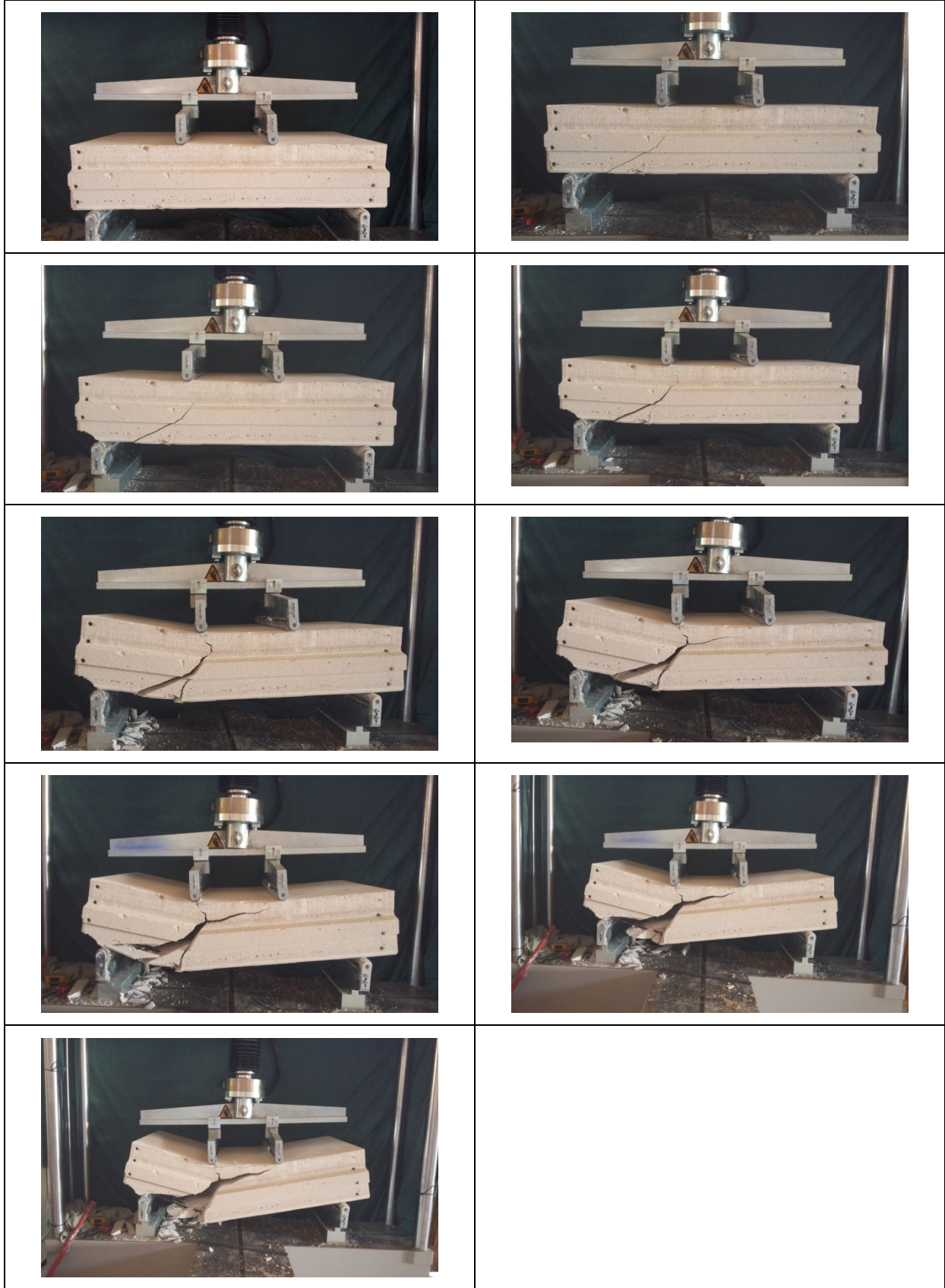
Şekil 6. 180 gün sülfat ortamında bekletilen normal betonun görünümü.



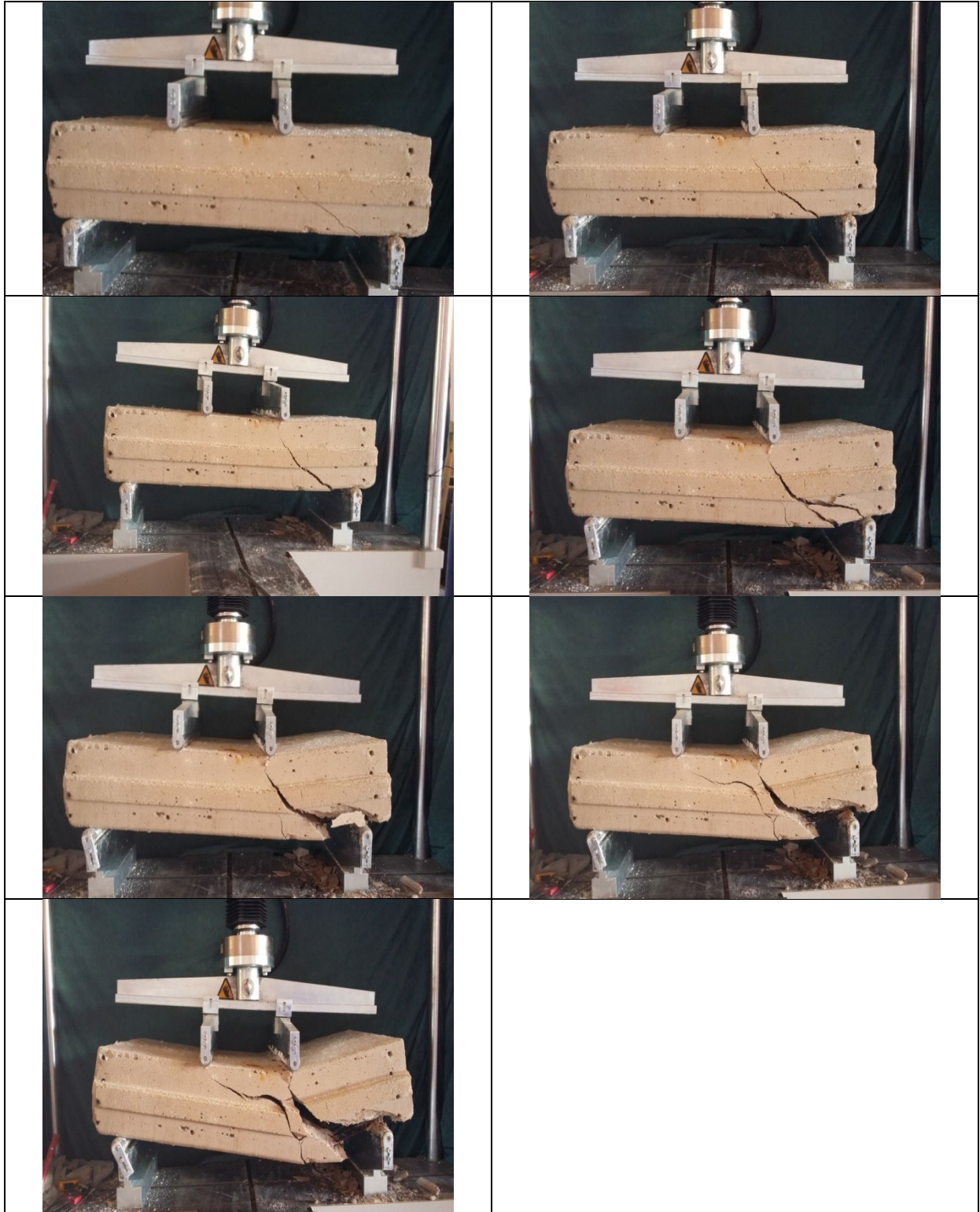
Şekil 7. 180 gün sülfat ortamında bekletilen donatılı gazbeton paneldeki korozyon



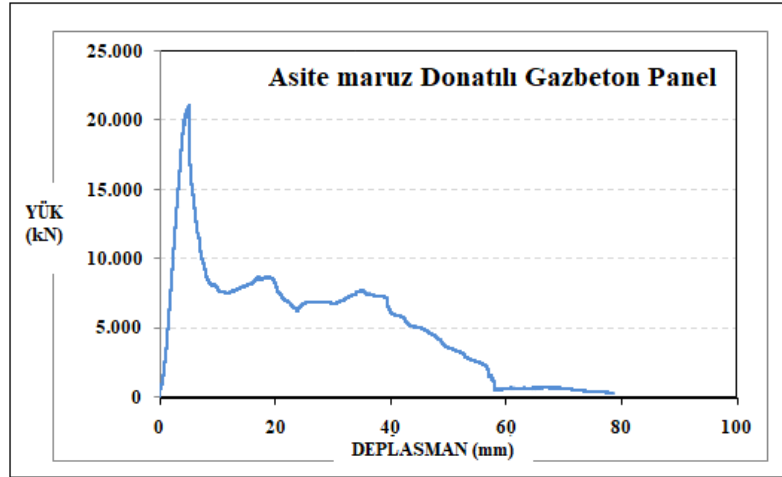
Şekil 8. 180 gün asit ortamında bekletilen donatılı gazbeton panelin yükleme sonucunda kırılma ve çatlak gelişimi



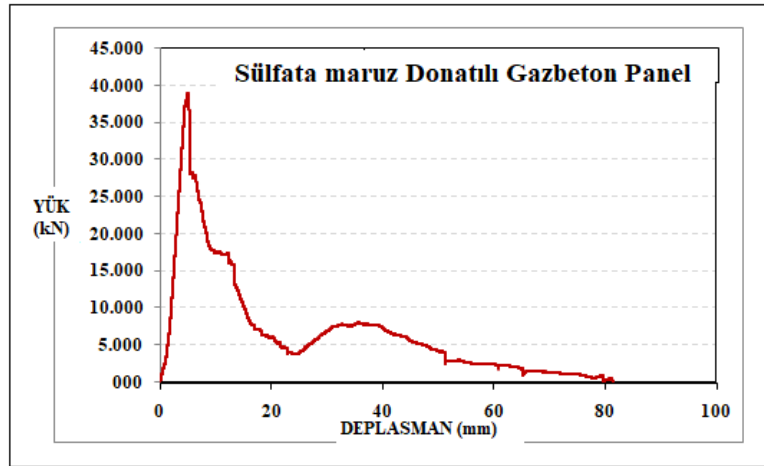
Şekil 9. Normal koşullarda bekletilen donatılı gazbeton panelin yükleme sonucunda kırılma ve çatlak gelişimi



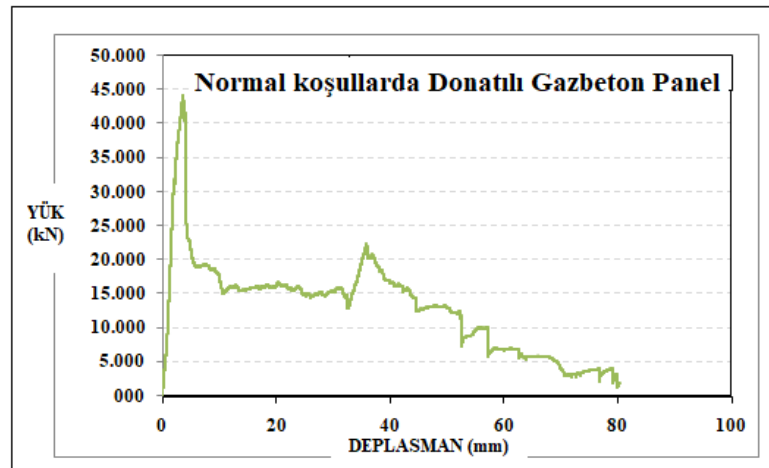
Şekil 10. 180 gün sülfat ortamında bekletilen donatılı gazbeton panelin yükleme sonucunda kırılma ve çatlak gelişimi.



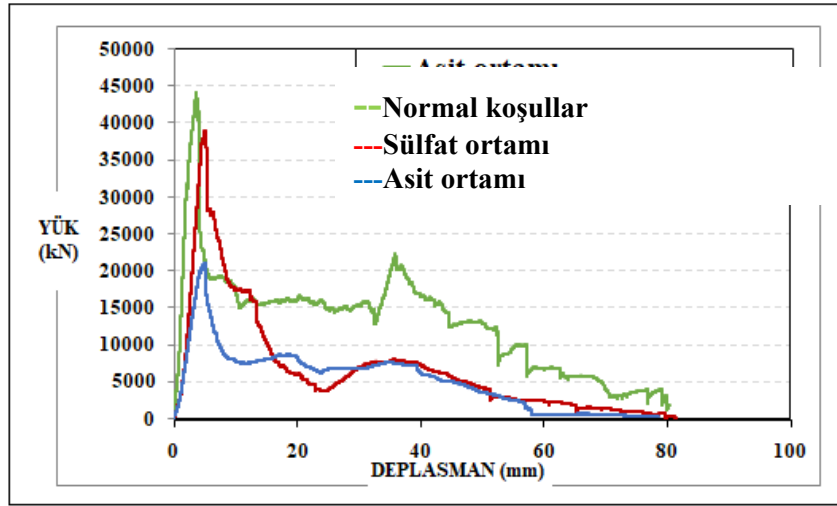
Şekil 11. 180 gün asit ortamında bekletilen donatılı gazbeton panelin yük-deplasman grafiği



Şekil 12. 180 gün sülfat ortamında bekletilen donatılı gazbeton panelin yük-deplasman grafiği



Şekil 13. Normal koşullarda bekletilen donatılı gazbeton panelin yük-deplasman grafiği



Şekil 14. Asit, sülfat ve normal ortamda bekletilen donatılı gazbeton panellerin karşılaştırmalı yük deplasman grafiği

3. Sonuçlar

Bu çalışmada ısı yalıtımı açısından yapılarda çok önemli olan donatılı gaz beton panellerin kimyasal etki altındaki eğilme davranışı deneysel olarak incelenmiştir. Bu amaçla özel bir gaz beton firması tarafından üretilen donatılı gaz beton paneller kullanılmıştır. Bu paneller %5'lik asit ve sülfat havuzlarında 180 gün bekletilmiştir. Karşılaştırma amacıyla kullanılan donatılı gazbeton panel ise normal koşullarda saklanmıştır. 180 gün sonunda asit ve sülfata maruz donatılı gazbeton paneller çıkarılarak deplasman kontrollü yükleme cihazıyla 4 nokta eğilme deneyi ile yüklenmiştir. Detaylı olarak, yük artışlarına bağlı olarak yük deplasman değerleri elde edilmiş ve yük deplasman grafikleri elde edilmiştir. Bunun dışında kırılma ve çatlak gelişimi de detaylı olarak gözlemlenmiştir. Bulgular sonucu asit etkisinin donatılı gazbeton panellerin eğilme dayanımına çok olumsuz etki yaptığı görülmüştür. Normal koşullardaki donatılı gazbeton panelin eğilme yükü 44,5 KN olurken, sülfata maruz donatılı gazbeton panelin eğilme yükü 39,5 KN, aside maruz donatılı gazbeton panelin eğilme yükü ise 21 KN bulunmuştur. Görüldüğü gibi aside maruz donatılı gazbeton panelin normal koşullarda saklanmış donatılı gazbeton panele göre eğilme yükü en fazla etkilenmiş ve %53'lük bir düşüş görülmüştür. Öte yandan sülfata maruz donatılı gazbeton panelin normal koşullarda saklanmış donatılı gazbeton panele göre eğilme yükü ise daha az etkilenmiş ve %11'lik bir düşüş görülmüştür. Bu olumsuz etki sadece gazbetonun hasar görmesi değil aynı zamanda donatının da korozyona uğraması sebebiyle meydana gelmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, özellikle asit etkisi altında, güvenlik katsayısının yüksek alınarak donatılı gazbeton panellerin kullanımında daha uygun olacağı görülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışmada kullanılan donatılı gazbeton panellerin üretimini gerçekleştiren Gaziantep Ytong firmasına ve Genel müdürü Müberra Şener'e, Deneysel çalışmalarda yardım eden Dr. Ali Khalid Hussein'e teşekkürü borç bilirim.

Kaynaklar

[1] Valore R. C. Cellular concretes-physical properties. J Am Concr Inst 1954; 25:817-36.

- [2] Rudnai G. Light weight concretes. Budapest: Akademi Kiado. 1963
- [3] Narayanan N., and Ramamurthy K. Structure and properties of aerated concrete: a review. *Cement and Concrete composites* 2000; 22.5, 321-329.
- [4] Sherin K., and Saurabh J K., 2018. Review of autoclaved aerated concrete:-advantages and disadvantages. *Proc. Natl. Conf. Adv. Struct. Mater. Methodol. Civ. Eng.(ASMMCE– 2018)*.
- [5] Hamad, A. J. Materials, production, properties and application of aerated lightweight concrete: review. *International journal of materials science and engineering* 2014 2: 152-157.
- [6] Schubert P. Shrinkage behaviour of aerated concrete. In: Wittmann FH, editor. *Autoclaved Aerated Concrete, Moisture and Properties*. Amsterdam: Elsevier; 1983
- [7] Aroni S. *Autoclaved aerated concrete-properties, testing and design*. CRC Press.2004
- [8] Ozel M., Thermal performance and optimum insulation thickness of building walls with different structure materials. *Applied Thermal Engineering* 2011 31.17-18:3854-3863.
- [9] Van Boggelen W., *History of Autoclaved Aerated Concrete The short story of a long lasting building material*. Aircrete Europe. 2014
- [10] Gokmen F., Seismic behavior of autoclaved aerated concrete reinforced vertical panel buildings. *Diss. MS thesis, Middle East Technical University, Turkey* 2017
- [11] Tanner JE., *Design provisions for Autoclaved Aerated Concrete (AAC) structural systems*. PhD thesis, The University of Texas at Austin. 2003
- [12] Taghipour A., *Seismic Behavior of Vertical Reinforced Autoclaved Aerated Concrete (AAC) Panel Walls*. MS Thesis, Middle East Technical University. 2016
- [13] Kurtoğlu AE., Bakbak D., Modeling the Shear Strength of Reinforced Aerated Concrete Slabs via Support Vector Regression. *International Journal of Engineering Technologies IJET* 2019, 5(1), 6-14.
- [14] Bakbak D., Kurtoğlu AE., Shear Resistance of Reinforced Aerated Concrete Slabs: Prediction via Artificial Neural Networks. *Journal of Sustainable Construction Materials and Technologies* 2019, 4(2), 344-350

DİNAMİK ORTAMLARDA DERİN TAKVİYELİ ÖĞRENME TABANLI OTONOM YOL PLANLAMA YAKLAŞIMLARI İÇİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZ

Ziya TAN^{1*}, Mehmet KARAKÖSE²

¹Erzincan Üniversitesi, Kemaliye Hacı Ali Akın Meslek Yüksekokulu, Erzincan, 24600, Türkiye

²Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Elazığ, 23000, Türkiye

Geliş Tarihi/Received Date: 18.11.2021 Kabul Tarihi/Accepted Date: 04.03.2022 DOI: 10.54365/adyumbd.1025545

ÖZET

Takviyeli öğrenme, içinde bulunduğu ortamı algılayan ve kendi kendine kararlar verebilen bir sistemin, mevcut problemin çözümünde doğru kararlar almayı nasıl öğrenebileceği bir yöntemdir. Bu makalede, bir robotun hareketli engellerin(yayalar) olduğu bir ortamda engellere çarpmadan belirtilen alanda otonom bir şekilde hareket etmeyi öğrenmesi için derin takviyeli öğrenme tabanlı bir algoritma önerilmektedir. Oluşturulan simülasyon ortamında derin öğrenme algoritmalarından Convolutional Neural Network(CNN), Long-short Term Memory(LSTM) ve Recurrent Neural Network(RNN) ayrı ayrı kullanılıp performansları test edilerek raporlanmıştır. Buna göre bu makale kapsamında literatüre üç önemli katkı sunulmaktadır. Birincisi etkili bir otonom robot algoritmasının geliştirilmesi, ikincisi probleme uygun olarak uyarlanabilen derin öğrenme algoritmasının belirlenmesi, üçüncü olarak otonom bir robotun hareketli engellerin olduğu kalabalık ortamlardaki hareket eylemini gerçekleştirilmesi için genelleştirilmiş bir derin takviyeli öğrenme yaklaşımının ortaya konulmasıdır. Geliştirilen yaklaşımların doğrulanması için derin takviyeli öğrenme algoritmaları ayrı ayrı simüle edilerek eğitimi gerçekleştirilmiştir. Yapılan eğitim sonuçlarına göre, LSTM algoritmasının diğerlerinden daha başarılı olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Derin Takviyeli Öğrenme, Otonom Yol Planlama, Derin Öğrenme, LSTM, RNN

COMPARATIVE ANALYSIS FOR AUTONOMOUS PATH PLANNING APPROACHES BASED ON DEEP REINFORCEMENT LEARNING IN DYNAMIC ENVIRONMENTS

ABSTRACT

Reinforcement learning is a method of how a system that perceives its environment and can make decisions on its own can learn to make the right decisions in solving the current problem. In this article, a deep reinforcement learning-based algorithm is proposed for a robot to learn to move autonomously in a specified area without hitting obstacles in an environment with moving obstacles (pedestrians). Convolutional Neural Network (CNN), Long-short Term Memory (LSTM) and Recurrent Neural Network (RNN), which are deep learning algorithms in the created simulator environment, are used separately and their performances are tested and reported. Accordingly, three important contributions to the literature are made within the scope of this article. The first is the development of an effective autonomous robot algorithm, the second is the determination of a deep learning algorithm that can be adapted to the problem, and the third is a generalized deep reinforcement learning approach for an autonomous robot to perform the movement action in crowded environments with moving obstacles. In order to verify the developed approaches, deep reinforcement learning algorithms were separately simulated and trained. According to the training results, it has been determined that the LSTM algorithm is more successful than the others.

Keywords: Deep Reinforcement Learning, Autonomous Path Planning, Deep Learning, LSTM, RNN

* e-posta¹: ziyatan@erzincan.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2813-5882> (Sorumlu Yazar)

e-posta²: mkarakose@firat.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3276-3788>

1. Giriş

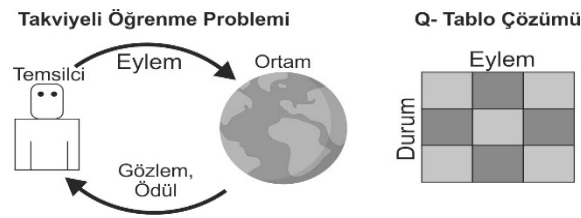
Yapay zekâ, makinelerin edindiği tecrübelerden öğrenmesini, yeni girdilere uyum sağlamasını ve insan benzeri görevleri gerçekleştirmesini mümkün kılar. Yapay zekâ, görevleri yerine getirmek için insan beynini modelleyerek taklit eden ve topladıkları bilgilere göre yinelemeli olarak kendini geliştirebilen sistemlerdir. Günümüzde bu sistemler satranç oynayan bilgisayarlardan kendi kendini geliştirebilen robotlara kadar kullanılmaktadır. Özellikle derin öğrenme ve takviyeli öğrenme yöntemleriyle geliştirilen yaklaşımlar teknolojik gelişmelerde önemli rol oynamaktadır.

Bu yaklaşımlar, bir temsilciye gereksinim duyulan, belirsiz özelliklere sahip birden fazla koşul altında bir görevi yerine getirme problemini çözmek için kullanılır. Aynı zamanda bilinmeyen etkenlerin bulunduğu karmaşık bir ortamda eğitim seti olmaksızın sonuç almak oldukça zordur [1]. Başka bir şekilde ifade etmek gerekirse, temsilci, kendine verilen bir görevi tamamlamaya çalışan akıllı bir sistem tarafından gerçekleştirilen doğru bir eylemdir. Bu eylemi Markov Karar süreçleri (MDP) [2] olarak adlandırılan modelin karar verme süreci olarak tanımlanmaktadır.

Takviyeli öğrenmedeki en önemli gelişmelerden biri, Q-öğrenme olarak bilinen bir politika dışı Zamansal-fark (Temporal Different) kontrol algoritmasının geliştirilmesiydi [3]. Temel olarak tek aşamalı Q-öğrenme, denklem 1 de gösterildiği gibi tanımlanır:

$$(S_T, A_T) \leftarrow Q(S_T, A_T) + \alpha [R_{t+1} + \gamma \max_a Q(S_{t+1}, a) - Q(S_T, A_T)] \quad (1)$$

Q-öğrenme gibi takviyeli öğrenme yöntemleri stokastik algoritmalara göre daha güvenilirdir, çünkü durum(state) geçişlerinde bir ödül olarak mevcut eylemi ödüllendirir. MDP teorisinin temeline dayanan Q-öğrenme, farklı karmaşık koşullar altında temsilci eylemlerinin sorunlarını çözmek için ideal bir yöntemdir. Q-öğrenmede kullanılan tablo matrisi(Q-Table), durum ve hareket değerlerinin artmasıyla çok büyük bir boyuta gelir. Bu durum en büyük dezavantajlarından biridir ve temsilcinin yönlendirilmesinde yanlış kararlar vermesine yol açar. Bu tür durumlarda yaygın olarak kullanılan yapay sinir ağları ile sorun en aza indirilmektedir. Dolayısıyla araştırmacılar tarafından daha çok tercih edilmektedir. Q-Öğrenmenin yapısı şekil 1 de gösterilmiştir.



Şekil 1. Q-öğrenme modeli

Derin takviyeli öğrenme(DRL), özellikle son yıllardaki gelişmelerle birlikte araştırmacılar tarafından tercih edilmektedir. DeepMind ekibinin Atari oynayabilen temsilciyi eğitmeleri 2010 yılının en dikkat çeken gelişmelerinden olmuştur. Aynı yıllarda Go oyununda dünya şampiyonunu yenebilen bir temsilci eğitildi. Bu gelişmelerin ardından takviyeli öğrenme çalışmaları hızla ilerledi. 2019 yılında Dota [4] oyunu derin takviye öğrenmesi kullanılarak geliştirildi. Starcraft II [5], Quake III [6], gibi karmaşık ve çok oyunculu oyunlarda derin takviye öğrenimi yaklaşımı kullanılarak geliştirildi. Ayrıca uzun süreli bellek gerektiren görevlerde başarılı sonuçlar alan derin takviyeli öğrenmeyi destekleyen mimariler geliştirildi [7] [8]. Sağlık alanında DRL nin kullanıldığı çalışma [9], Rubik küpün çözümünde [10], DRL'nin ses alanındaki ilerleyişi hakkında ayrıntılı bir çalışma hazırlamışlardır [11]. Benzer başka bir çalışmada ise konuşma duygu tanımada daha önceden eğitilmiş derin öğrenme algoritmaları kullanarak DRL yaklaşımı sunulmaktadır [12]. Otonom robot navigasyonu ile ilgili geliştirilmiş bir öğrenme yöntemi sunan çalışma [13] sürekli hareket halindeki karmaşık robot problemlerinde çalışmalar yapılmıştır. Düşman radar tespiti ve füze saldırısı altında İHA'nın hayatta kalma olasılığı dikkate alınarak bir durum değerlendirme modelinin geliştirildiği makalede [14] DRL tabanlı yol

planlama problemi ele alınmaktadır. Robotlar için bilinmeyen ortamlarda otonom yol planlama probleminin çözümü için derin takviyeli öğrenme algoritmaları kullanılmıştır [15]. Bilinmeyen bir ortamda insansız gemilerin akıllı yol planlamasını gerçekleştirmek için DRL'ye dayalı otonom bir yol planlama modeli önerilen makalede [16], model, çevre ile sürekli etkileşim ve geçmiş deneyim verilerinin kullanımı yoluyla derin deterministik politika gradyanı (DDPG) algoritmasını kullanmaktadır. Bilinmeyen bir ortamda quadrotorun otonom olarak uçabilmesi için yeni, açıklanabilir derin sinir ağı tabanlı bir yol planlayıcı önerilen çalışmada [17] navigasyon problemi bir Markov Karar Süreci (MDP) olarak modellenmiş ve yol planlayıcı, simülasyon ortamında Derin Takviyeli Öğrenme yöntemi kullanılarak eğitilmiştir.

Çizelge 1. Yol planlaması için yapılan bazı çalışmaların karşılaştırılması

| Makale | Problem | Simülatör | Çözüm Yöntemi |
|--------|--|--------------------|---|
| [13] | Robot için Otonom yol planlama | Gazebo | Derin Takviyeli Öğrenme (PPO) |
| [14] | Tehdit altındaki İHA için kendini koruma olasılığına karşın yol planlama | The STAGE Scenario | Derin Takviyeli Öğrenme (D3QN, DDQN, DQN) |
| [15] | Otonom robot navigasyonu | Gazebo | Derin Takviyeli Öğrenme (D3QN) |
| [16] | İnsansız gemiler için otonom yol planlama | Visual Studio 2013 | Derin Takviyeli Öğrenme (DDPG) |
| [17] | İHA için otonom yol planlama | AirSim | Derin Takviyeli Öğrenme (DDPG) |

Çizelge 1'de gösterilen çalışmalar incelendiğinde farklı simülasyon ortamları ve araçlar kullanılsa da derin takviyeli öğrenmenin otonom yol planlamasındaki katkısı görülmektedir. Bu katkının daha karmaşık problemlerde de görülmesi mümkündür.

Son yıllarda, özellikle otomotiv ve robotik alanlarda kendi kendine hareket edebilen otonom sistemlerin gelişimi, akıllı sistemlerin başarısının geldiği noktayı ortaya koymaktadır. Otonom sistemlerde yol ve trafik durumu çeşitli sensörlerle desteklenmekte ve modellenmektedir. Sensörlerden gelen ham verileri anlamlı hale getirip sistemin yol planlamasına karar vermektedir.

Bu makalede, hareketli engellerin olduğu bir ortam oluşturulmuş ve temsilcinin bu engellere çarpmadan hareket etmesi hedeflenmiştir. Günümüzde, fabrikalarda, insan trafiğinin yoğun olduğu iş merkezleri veya alışveriş merkezlerinde otonom robotlara rastlamak mümkündür. Bunlar görevlerini yerine getirirken birçok hareketli ya da sabit engellerle karşılaşmaktadır. Bu tür durumlarda bu engellere çarpmadan hareket etmeleri gerekmektedir. Ancak başarılı bir eğitim bu kazaları en aza indirecektir. Temsilcinin eğitim aşamasında derin takviyeli öğrenme yaklaşımı kullanılmıştır. Bu aşamada derin öğrenme algoritmalarından CNN, LSTM ve RNN algoritmaları ayrı ayrı uygulanarak sonuçlar raporlanmıştır. Bu makalenin başlıca katkılarını aşağıdaki gibi özetleyebiliriz.

- Bir robotun hareketli engellerin olduğu ortamlarda engellere çarpmadan hareketini gerçekleştirmesi,
- Otonom yol planlamasında kullanılacak olan derin takviyeli öğrenme algoritmasının geliştirilmesi,
- Derin öğrenme algoritmalarının otonom yol planlamasındaki başarılarının karşılaştırılması

Bu makalenin geri kalanı belirtilen şekilde sunulmuştur. Bölüm 2, makalede kullanılan algoritmalar ve derin takviyeli öğrenme yaklaşımları tanımlanmıştır. Bölüm 3'te yapılan çalışmayla alakalı önerilen yaklaşım anlatılmaktadır. Bölüm 4'te simülasyon sonuçları değerlendirilmektedir. Son bölümde ise makalenin sonuç bölümü bulunmaktadır.

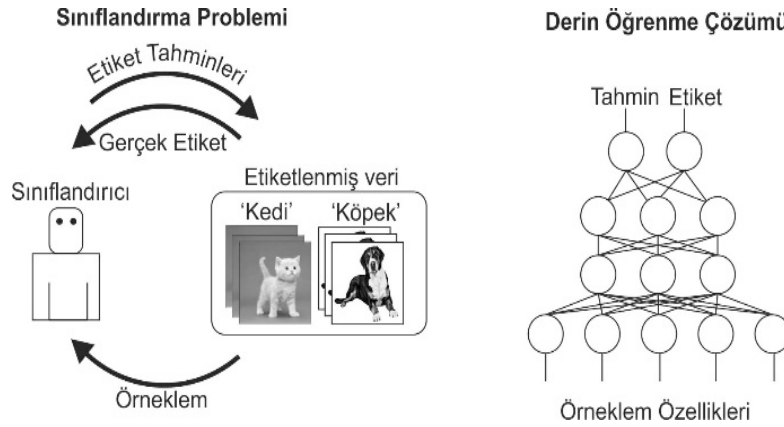
2. Derin Takviyeli Öğrenme

Bu bölümde çalışmada kullanılan derin takviye öğrenimi yaklaşımı ve kullanılan derin öğrenme algoritmaları açıklanmıştır.

2.1. Derin Öğrenme

Derin öğrenme [18] algoritmaları, özellik ve görevleri doğrudan giriş verisinden öğrenen bir makine öğrenme tekniğidir. Veriler ses, görüntü veya metinden oluşabilir. Derin öğrenme sistematik olarak yapay zekâ ve makine öğrenmesinin en altında yer almaktadır ve yapay zekâ uygulamalarında en popüler olan yaklaşımlarından biridir [19].

Derin öğrenme algoritmaları, öğrenme işlemi aşamasında etiketlenmiş bir örüntü üzerindeki tüm pikselleri giriş verisi olarak kullanır. Giriş verisi olarak verilen görüntü renkli ise giriş parametreleri 3 katı artar, eğer gri tonlu bir görüntü ise pixel değerleri kadar giriş verisi hesaplanır. Birincil olarak konvolüsyonel katmanları, ReLu(Rektifiye Doğrusal Birim) katmanları ve havuzlama katmanları uygulanarak görüntü üzerindeki özellik haritası çıkarılmaktadır. Özellik haritası çıkarıldıktan sonra tam bağlantılı katmanlar ve Softmax katmanından meydana gelen bir dizi sınıflandırma katmanları kullanılmaktadır [20]. Bu aşamada her pikselin her bir sınıfa ait ihtimal değerleri hesaplanmaktadır. Oluşan bu değerler Softmax katmanı tarafından ilgili pikselin hangi sınıfa ait olduğunu belirlemektedir [21]. Şekil 2’de derin öğrenmenin çalışma prensibi gösterilmiştir.

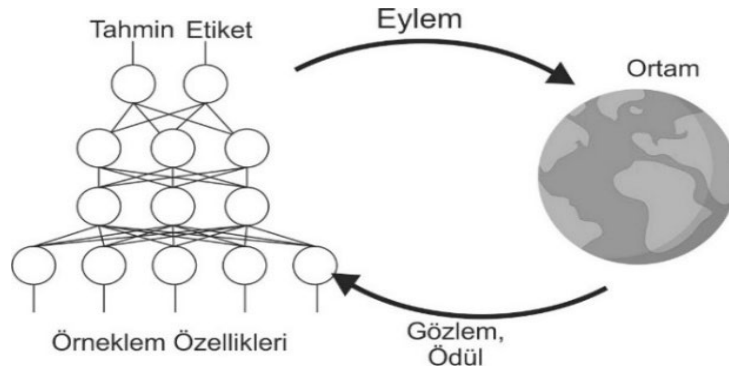


Şekil 2. Derin öğrenme modeli

2.2. Derin Takviyeli Öğrenme

Derin takviyeli öğrenme [22], takviyeli öğrenmede meydana gelen problemleri çözmek için derin öğrenmeden faydalanmaktadır. Alışagelmiş derin takviyeli öğrenme sistemleri algısal girdilerden eylem değerlerine veya eylem olasılıklarına kadar doğrusal olmayan bir eşleşmeyi hesaplamak için takviye öğrenme sinyalleri kullanılır. Bunun yanı sıra daha iyi ödül tahminleri üretmek veya yüksek oranda ödüllendirilen eylemlerin sıklığını artırmak için bu ağdaki ağırlıkları genellikle geri yayılım

yoluyla güncelleyen derin sinir ağı kullanır [23]. Şekil 3'te derin takviyeli öğrenme modeli gösterilmiştir.



Şekil 3. Derin takviyeli öğrenme modeli

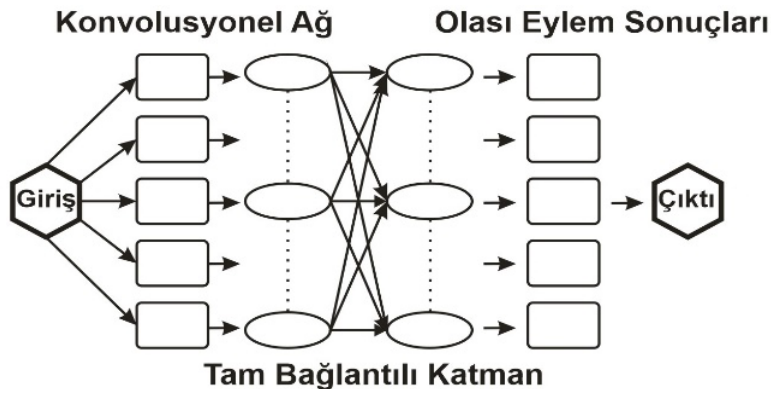
Q-öğrenme, temsilcimiz için oluşturulan Q-tablo sayesinde basit ama oldukça güçlü bir algoritmadır. Bu tablo, temsilcinin tam olarak hangi eylemi gerçekleştireceğini anlamasına yardımcı olur.

Takviyeli öğrenme, öğrenmeyi bir MDP ile temsil edilebilen kendi kendine öğretilen bir süreç olarak tanımlanır. Bir MDP'yi 4 farklı(S,A,P_a,R_a) parametreyle özetlenmektedir [24]:

S, mevcut durumlar dizisi, A, mevcut eylemler dizisi, P_a(s_t, s_{t+1}), s_t durumundaki bir a eyleminin s_{t+1} durumuna yol açma ihtimalidir. Temsilci tarafından gerçekleştirilen a eylemine göre s_t ve s_{t+1} durumları ortam tarafından belirlenir. R_a(s_t, s_{t+1}), a eylemini gerçekleştiren bir s_t durumundan s_{t+1} durumuna geçişte alınan anlık beklenen ödüldür.

Q-Tablosunun çok büyük olması durumunda temsilci için karar vermek çok zorlaşacaktır. Mevcut keşfedilmiş durumlardan yeni durumların Q değerini çıkarılamayacağından bazı sorunlar ortaya çıkacaktır. Ortaya çıkan en önemli sorunlardan biri, boyutu normalden çok büyük olan Q-Tablosunu kaydetmek ve güncellemek için gereken bellek miktarıdır. Bir diğer sorun ise gerekli Q-Tablosunu oluşturmak için her durumu keşfetme aşamasında geçen süre gerçekçi olmayacaktır. Bu durumda, Q değerlerini hesaplarken yapay sinir ağı kullanmak sorunun çözümünde büyük başarı sağlayacaktır.

Derin Q-öğrenme yaklaşımında, Q-değer fonksiyonuna yaklaşmak için bir sinir ağı kullanılmaktadır. Sinir ağı, durumu girdi olarak alır ve tüm olası eylemlerden Q-değeri çıktı olarak üretilir. Temel amaç temsilcinin bulunduğu ortamdan ödülleri toplamak ve puanı en üst düzeye çıkarmaktır [25].Şekil 4'te Derin Q- Ağının mimarisi gösterilmektedir.



Şekil 4. Derin Q-ağı mimarisi

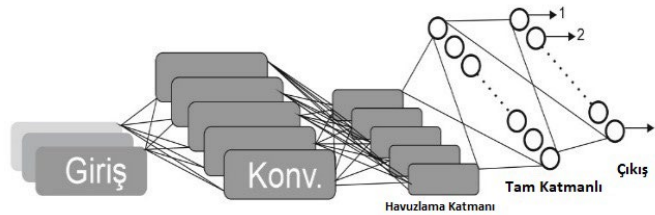
Temsilci her döngüde modelin ağırlıklarını günceller. Çizelge 2’de Derin Q-Öğrenme algoritmasının öğrenme aşamasındaki sözde kodu verilmektedir.

Çizelge 2. Derin q-öğrenme algoritmasının sözde kodu

| | |
|---|--|
| 1 | Hafıza yenilenir |
| 2 | Rastgele ağırlıklarla network yenilenir |
| 3 | Her bir adım için: |
| | -Başlangıç durumu ayarlanır |
| | -Her zaman adımı için: |
| | -Eylem Seçilir |
| | -Keşif veya sömürü karar verilir |
| | -Eylemi gerçekleştir |
| | -Ödülü gözlemlenir ve bir sonraki duruma git |
| | -Deneyimi ve hafızayı kaydet |
| | -Network ağırlıklarını güncelle |

2.3. Evrişimli Sinir Ağı (CNN)

Konvolüsyonel sinir ağları (CNN) çoklu dizi biçiminde gelen verileri işlemek için tasarlanmıştır. Doğal sinyallerin özelliklerinden yararlanan bu ağların arkasında dört farklı temel yaklaşım vardır. Bu temel yaklaşımlar; yerel bağlantılar, paylaşılan ağırlıklar, havuzlama ve birçok katmanın kullanımından oluşmaktadır. Şekil 3. de gösterildiği gibi klasik bir CNN mimarisi ardışık birkaç katmandan oluşmaktadır [18]. Evrişimli bir katmandaki değerler özellik haritalarında düzenlenir. Burada her birim bir takım filtre yardımıyla bir diğer katmanın özellik haritalarındaki yerel yamalara bağlanır. Bu katmanlarda oluşan ağırlık değerleri daha sonra doğrusal olmayan bir fonksiyondan geçirilir. Evrişimli katmanın bir önceki katmandaki özelliklerin niteliklerini saptamak olsa da, havuzlama katmanının görevi anlamsal olarak benzer özellikleri tek bir nesnede birleştirmektir [26]. Havuzlama katmanları belirlenen filtre tarafından bir önceki katman üzerinde belli adımlarla kaydırılarak verileri alır ve böylece özellik matrisinin boyutu azalır. CNN'ler temelde, konvolüsyonel katmanı, havuzlama katmanı ve tam bağlı katman oluşur. Bu katmanların birden fazla kullanılması mümkündür. Bir klasik CNN mimari yapısı Şekil 5’ te gösterilmiştir.



Şekil 5. Klasik CNN mimarisi

2.4. Tekrarlayan Sinir Ağları (RNN)

RNN, düğümler arasındaki bağlantıların zamansal bir dizi boyunca yönlendirilmiş bir döngü oluşturduğu bir yapay sinir ağları sınıfıdır [27]. İleri beslemeli sinir ağlarından üretilen RNN ler değişken boyuttaki girdileri için hafıza kullanırlar [28].

Geri yayılım(backpropagation) ilk kullanılmaya başlandığında RNN için heyecan vericiydi. RNN genelde dil işleme ve konuşma gibi sıralı girdileri içeren problemlerin çözümünde daha başarılıdır [29]. RNN'lerin en büyük dezavantajı eğitim aşamasında geri yayılım yapan gradyanların her adımda boyutunun fazla oranda değişmesi nedeniyle kaybolmaların veya patlamalarına sebep olabilir. Mimarideki ilerlemeler ve onları eğitme yolları sayesinde metinlerdeki bir sonraki karakteri veya devam eden kelimeyi tahmin etmede çok başarılı olmuştur [30]. RNN için kullanılan sinir ağları diğer sinir ağlarına göre farklılık gösterir. En önemli farklardan biri geçici bir hafızaya sahip olmasıdır [31]. Şekil 6'da RNN algoritmasının yapısı gösterilmektedir.

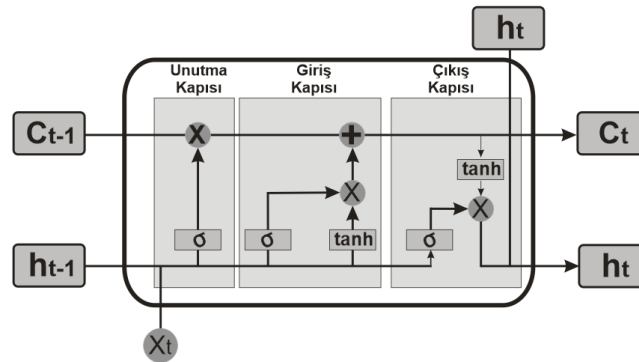


Şekil 6. Temel RNN mimari yapısı

2.5. Uzun Kısa Vadeli Hafıza Ağları (LSTM)

LSTM [32], kaybolan gradyan problemini önleyen derin öğrenme alanında kullanılan bir RNN mimarisidir. Alışagelmiş ileri beslemeli sinir ağlarının aksine, LSTM' in yalnızca tek veri noktalarını değil, tüm veri dizilerini işleyebilen geri besleme bağlantıları bulunmaktadır [33].

LSTM Sepp Hochreiter ve Juergen Schmidhuber tarafından 1997 yılında kaybolan gradient problemine çözüm bulmak için geliştirilmiştir [29].RNN mimarilerinde önceki bilgi kullanımına dayalı bir yaklaşım vardır. Mimarisi ayrıntılı bir şekilde incelendiğinde tüm katmanların aynı ağırlıkları paylaştığı ileri beslemeli ağlar olarak değerlendirilebilir. Temel amaç bu ağırlıkları uzun süre hafızada tutmak olsa da bunun ne kadar zor olduğunu yapılan deneylerle kanıtlamışlardır. [34]. Bu problemin çözümündeki en büyük fikirlerden biri RNN ağını açık bir hafıza ile genişletmektir. Bu yaklaşıma yönelik ilk öneri gizili birimler kullanan LSTM ağları olmuştur [35].Basit bir LSTM yapısında bir hücre, giriş kapısı, çıkış kapısı ve unut kapısı bulunmaktadır. Bu hücreler sisteme giren bilgi giriş çıkışını düzenlemektedir [36].



Şekil 7. LSTM hücresinin mimarisi

Şekil 7' de LSTM hücresinin mimari yapısı görülmektedir. Buna göre LSTM yapısının giriş verisi olarak bilginin herhangi bir değişikliğe uğramadan bir sonraki adıma geçmesini sağlayan hücre durumunu C_t olarak tanımlanır. C_t , isteğe bağlı olarak üç farklı kapı tarafından kontrol edilir. İlk kapı unutma kapısıdır. Unutma kapısı, hücre durum vektörü C_{t-1} tarafından hangi değerlerin unutulacağını kontrol eder. İkinci kapı olan giriş kapısı, hangi değerlerin güncelleneceğine karar verir. Üçüncü kapı ise sigmoid fonksiyonu tarafından çıkış değerinin hangisi olacağına karar verir [37].

Yapay Sinir Ağları çok güçlü bir tekniktir ve görüntü tanıma ve diğer birçok uygulama için kullanılır. Dezavantajlarından biri, modelle ilişkili bir belleğin olmamasıdır. Bu, metin veya zaman serileri gibi sıralı veriler için bir sorundur. RNN, bir tür bellek işlevi gören bir geri bildirim görünümü ekleyerek bu sorunu giderir. Böylece modele geçmiş girdiler bir ayak izi bırakır. LSTM, hem kısa vadeli hem de uzun vadeli bir bellek bileşeni oluşturarak bu fikri genişletir. Bu nedenle, LSTM, dizisi olan her şey için iyi sonuç veren bir ağıdır. Çünkü bir kelimenin anlamı kendisinden önce gelenlere bağlıdır. Bu sayede, doğal dil işleme ve anlatı analizinin Sinir Ağlarından yararlanma yolunu açmıştır. LSTM, metin üretimi için kullanılabilir. Modeli bir yazarın metni üzerinde eğitebilir ve yazarın stilini ve ilgi alanlarını taklit eden yeni cümleler oluşturulabilir.

3. Önerilen Yaklaşım

Bu bölümde, ikinci bölümde ayrıntılı bir şekilde anlatılan üç farklı derin öğrenme algoritmasının hareketli engellerin olduğu bir ortamda ayrı ayrı eğitilerek başarılarının karşılaştırılması işlenmektedir. Takviyeli öğrenme ile derin öğrenmenin bir arada kullanıldığı derin takviyeli öğrenme yaklaşımı robotların eylemlerini seçmede temsilcilere sınırsız bir hareket ortamı sunmaktadır. CNN, LSTM ve RNN algoritmaları derin öğrenme problemlerinde başarılı sonuçlar vermiştir. Bu başarının, takviyeli öğrenme ile birleştirilerek hareketli engellerin olduğu bir simülasyon ortamında test edilmesi sağlanmıştır. Robotun engellere çarpmadan hareket etmeyi öğrenmesi amaçlanmıştır. Özellikle LSTM mimarisi gibi geri besleme yapısından ve kısa süreli hafızaya sahip olmasından dolayı bir önceki aşamadaki deneyimleri de unutmadığı için otonom şekilde gezinen robotlar için daha başarılı olacağı düşünülmektedir. Bu simülatörde kullanılan robota bu açıdan kattığı kazanımlar yadırganamaz.

Bu çalışmanın literatüre en büyük katkılarından biri LSTM ve RNN gibi dil işlemede başarısı kanıtlanmış derin öğrenme algoritmalarının bu tür problemlerde de uygulanabileceği ve başarılı sonuçlar elde edilebileceğidir.

3.1. Keşif Ve Sömürü Tercih

Aslında günlük hayatımızda da sık sık karşılaştığımız bir durumdur. Bir şeyi yaparken bildiğim şekilde mi devam edeyim mi yoksa başka bir şey denemeliyim diye kararsız kalabiliriz. Takviyeli öğrenmede, eğer yaptığımız bir şeyi devam ettiriyorsak ‘sömürü’, yeni bir şey yapıyorsak ‘keşif’ olarak tanımlanır. Bu durumun hangi yönde ne kadar devam edileceği belirlenmektedir. Açgözlü (ϵ -Greedy) politikasını bu deneyimlerden en yüksek kazancı elde etmek için kullanılmaktadır.

3.2. Açgözlü (ϵ -Greedy)

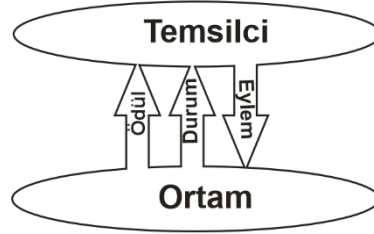
Bu çalışmada, ϵ -Açgözlü davranış politikası tercih edilmiştir. Başlangıç değeri 1 olarak belirlenmiştir. Temsilcinin eylemini belirlemek için bu değer belli oranda azaltılmıştır. Bu değerler Çizelge 4’te gösterilmektedir.

$$a = \begin{cases} a, & 1 - \epsilon \\ \text{rastgele eylem}, & \epsilon \end{cases} \quad (2)$$

Denklem (2) de ϵ , temsilcinin öğrenme aşamasındaki keşif olasılığını gösterir.

3.3. Temsilci-Ortam Etkileşimi

Son yıllarda yapay sinir ağlarının bilgisayarlı görme, konuşma tanıma gibi problemlerde geleneksel makine öğrenimi yaklaşımlarında başarılı olduğu görülmüştür [38]. Ayrıca aynı sinir ağlarının başarılı sonuçlar almak ve daha fazla ödül toplamak için takviyeli öğrenme uygulamalarında da umut verici sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Bu durumda yapay sinir ağları temsilci görevini üstlenir ve ortamdaki her adımı bir ödülle ödüllendirir [39]. Bir başka deyişle buna derin takviyeli öğrenme denmektedir. Şekil 8’de temsilci-ortam etkileşimi gösterilmektedir.



Şekil 8. Temel takviyeli öğrenme yapısı

Toplanan her ödül, eylemleri gerçekleştiren temsilcinin bir sonraki hareketi için öğrenme kriteridir. Ödüllerin toplanmasındaki esas eylem, temsilcinin politikaya (π) göre hareket etmesidir. Bu nedenle, RL sorununu formüle ederken, çevreden maksimum ödülü getiren bir ilke tanımlanmalıdır. MDP, mevcut durumların yalnızca son duruma (s') bağlı olduğunu ve geçmiş tüm durumlara bağlı olmadığını belirtir [40].

Takviye öğrenme algoritmalarında temel felsefe, istenilen eylemin gerçekleşmesi için bir eylemin ödül veya cezasını bir yöntemle düzenlemektir [41].

Eylem (a) = Temsilcinin her adımda aldığı ödüle göre geçerli politikanın belirlediği hareketi temsil etmektedir. Bu çalışmada 4 farklı eylem bulunmaktadır: ileri git, geri git, sağa git ve sola git.

Durum (s): Temsilcinin aktif adımda ortamdaki konumunu belirtmektedir.

Ödül (R): Temsilcinin her adımda ortamla olan etkileşiminden aldığı ödüldür. Bu değer temsilcinin daha sonraki adımlarında hangi eylemi seçmesinde rol oynar.

Ortam: Temsilcinin kendini eğitmek için gerekli duyduğu fiziksel ya da sanal ortamlardır. Ortamları başlıca stokastik ve deterministik olarak ikiye ayırabiliriz. Deterministik ortamda, temsilcinin durumu ve seçilen eylem ortamın bir sonraki durumu bilinmektedir. Temsilcinin herhangi bir belirsizlik için endişelenmesine gerek yoktur. Stokastik ortamda ise rastgelelik vardır ve bir sonraki eylem belirlenemez [42].

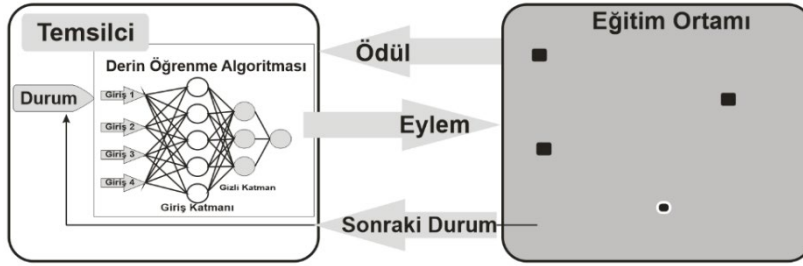
Politika (π): Politikanın temel amacı, ortamda bulunan temsilcinin davranışlarını belirlemektir. Temsilcinin hedefi, maksimum ödülü alacak politikayı seçmektir [43].

İndirim Faktörü (γ): Bir temsilcinin ödül fonksiyonunu belirlemede kullanılır. İndirim faktörü anlık ödüllerden etkilenir.

3.4. Pygame Simülatörü İçin Derin Takviyeli Öğrenme Yaklaşımı

PyGame, Python tarafından interaktif oyunlar tasarlamak için geliştirilen bir simülasyon kütüphanesidir. Bu makalede, temsilcimizi eğitmek için PyGame aracılığıyla 400*400 piksel boyutlarında bir ortam oluşturuldu. Şekil 9’da gösterildiği gibi 4 farklı hareketli engel ve bir temsilci bulunmaktadır. Temsilcinin engellere çarpmadan hareket etmesi hedeflenmiştir. Temsilci, ortamda

bulunduğu süre hareketli engellere çarptığı her eylem için -150 puan ceza ve her doğru eylem için +2 ödül puanı almaktadır.



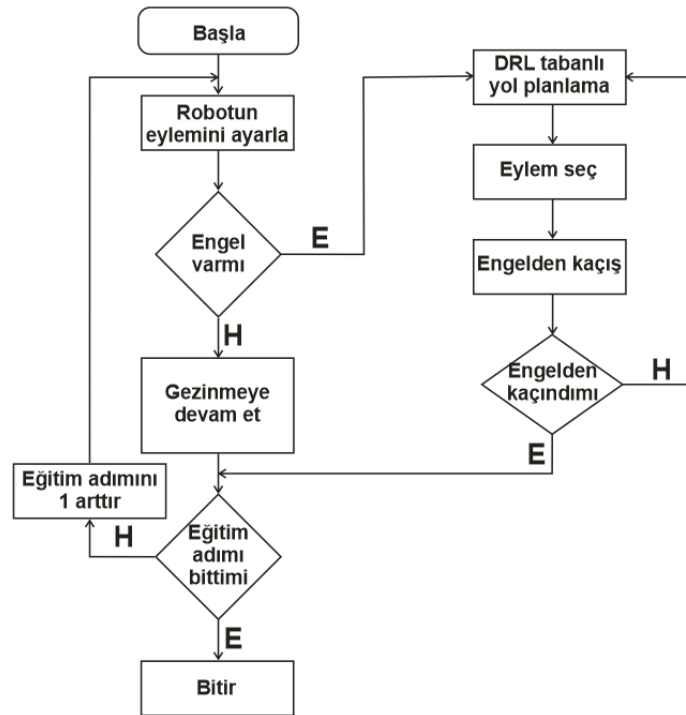
Şekil 9. Eğitim ortamı ile temsilcinin etkileşimi.

Şekil 9'da gösterilen şekilde eğitim ortamında bulunan küçük siyah kareler hareketli engelleri temsil etmektedir. Çizelge 3'te ortamda kullanılan 4 farklı eylem gösterilmektedir.

Çizelge 3. Ortamda gerçekleştirilen eylem tipleri

| No | Eylem |
|----|----------------|
| 0 | Sola hareket |
| 1 | Sağa hareket |
| 2 | Yukarı hareket |
| 3 | Aşağı hareket |

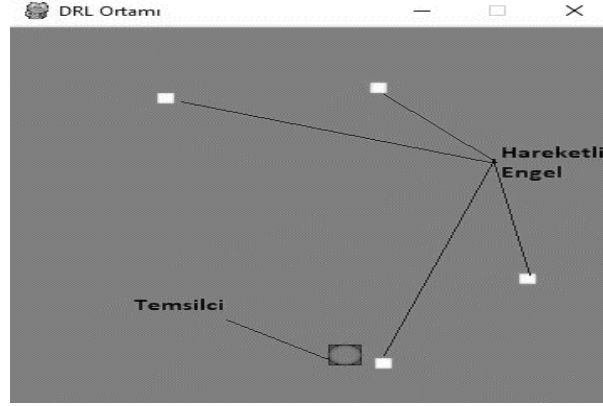
Şekil 10'da bu çalışmada kullanılan deneylerin akış şeması gösterilmektedir.



Şekil 10. Yapılan deneylerin akış şeması

4. Simülasyon Sonuçları

Bu çalışmada Python yazılım dili Keras Kütüphanesi ile birlikte kullanılarak yapay sinir ağı oluşturulmuştur. Derin öğrenme algoritmalarından LSTM, RNN, ve CNN algoritmaları benzer parametrelerle ayarlanarak ayrı ayrı eğitim gerçekleştirmiştir. Şekil 11’de PyGame tarafından oluşturulan eğitim ortamı gösterilmektedir.



Şekil 11. Eğitim ortamı

Kullanılan Derin Q- Öğrenme algoritmalarında 48 nöronlu bir katman içermektedir. Kayıp fonksiyonu olarak Mean Squared Error, aktivasyon fonksiyonu Linear ve çıkış katmanında Sigmoid aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır [44]. Eğitimi sonlandırmak için temsilcinin toplamda 5000 puan alması veya engellerden birine çarpması gerekmektedir. Bu kriterler göz önüne alındığında gerçekleşen eğitim, 500 adım için CNN 7 saat, RNN 45 saat ve LSTM 25 saat sürmüştür. Eğitim, i5 işlemcili 8gb ram olan standart kapasitede bir bilgisayarda gerçekleştirilmiştir. Derin Q-Öğrenme algoritmasında kullanılan parametreler Çizelge 4’te ki gibidir.

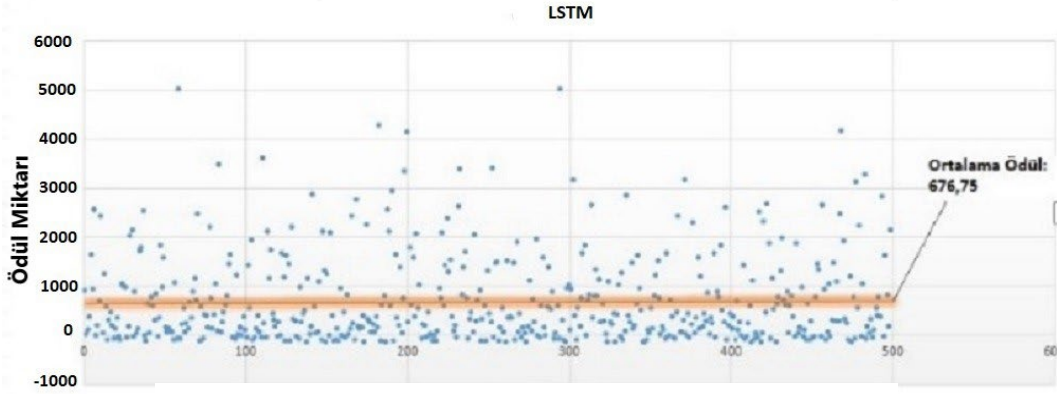
Çizelge 4. Kullanılan parametre değerleri

| Parametre | Değer | |
|---------------|-------------|------|
| Tur Sayısı | 500 | |
| Öğrenme Oranı | 0.01 | |
| Gamma | 0.95 | |
| Keşif Oranı | En büyük | 1 |
| | En az | 0.1 |
| | Düşüş oranı | 0.95 |

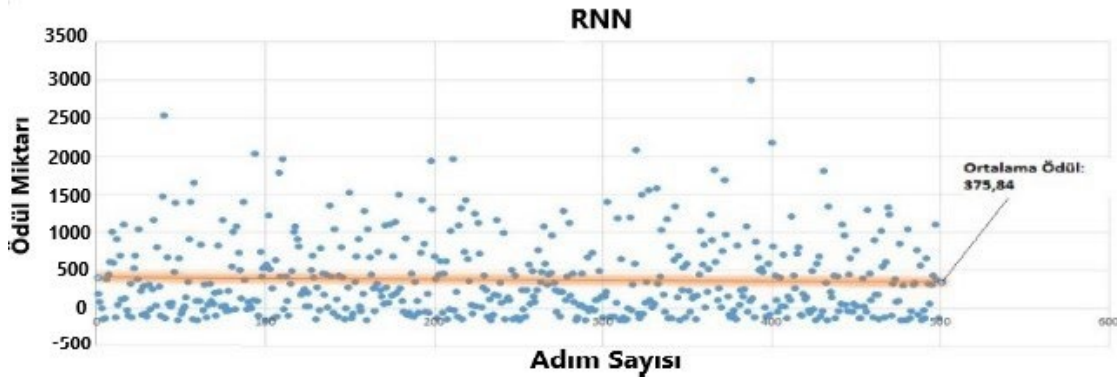
LSTM ve RNN her ne kadar dil işleme veya kelime tamamlama problemlerinde çok başarılı olsalar da, özellikle LSTM in bu tür problemlerde de başarı olduğu sonuçlar incelendiğinde görülmüştür [45]. Şekil 12’de gösterilen adım-ödül grafikleri incelendiğinde LSTM mimarisinin başarısı daha net görülmektedir. 500 adımlık eğitim süresince tavan ödül olan 5000 i iki defa almıştır. Ortalama ödül olarak da diğer mimari ağlara göre daha fazla puan almıştır. Şekil 13 ve 14 incelendiğinde ise CNN ve RNN algoritmalarının LSTM algoritmasına göre daha kötü sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Çizelge 5 incelendiğinde ödül-adım grafiklerine paralel olarak ödül ortalamalarında da başarılı mimari LSTM olmuştur.

Çizelge 5. Alınan ödüllerin ortalaması

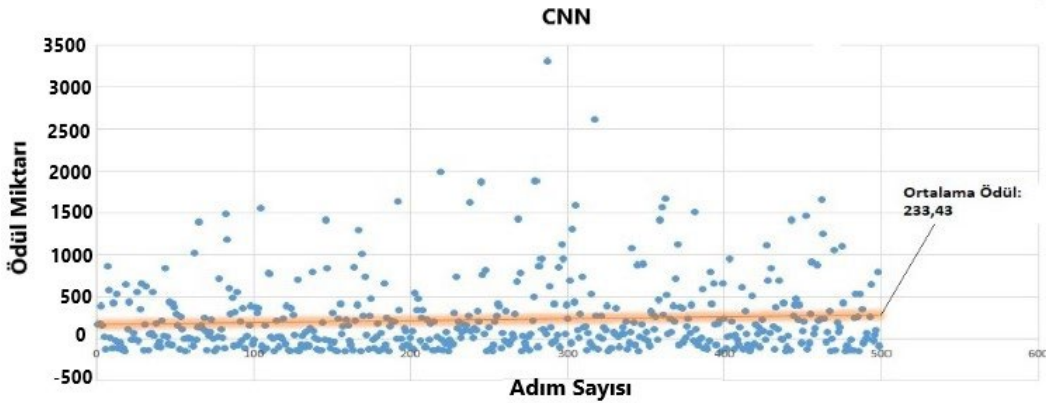
| Algoritma | Ortalama Ödül |
|-------------|---------------|
| CNN | 233.44 |
| LSTM | 676.75 |
| RNN | 375.84 |



Şekil 14. LSTM algoritmasının eğitim sonuç grafiği



Şekil 14. RNN algoritmasının eğitim sonuç grafiği



Şekil 14. CNN algoritmasının eğitim sonuç grafiği

5. Sonuç

Derin Takviyeli Öğrenme, son yıllarda otonom araçlar alanında yapılan çalışmalarda başarılı sonuçlar ortaya koymuştur. Ancak problemin karmaşıklığı ve ortamın büyüklüğü arttıkça eğitim süreci çok zaman alacaktır ve donanımsal olarak yüksek performanslı bilgisayarlara ihtiyaç duyulacaktır. Bu makalede, dinamik ortamlarda karşılaşılabilecek engellere karşı otonom robotların hareket problemlerine yönelik Derin Takviyeli Öğrenme yaklaşımı kullanarak bir öneri ortaya konmuştur. Genelde bu tür problemlerde CNN derin öğrenme algoritması kullanılırken bu çalışmada tekrarlayan sinir ağlarından RNN ve LSTM de test edilmiştir. Sonuç olarak üç farklı derin öğrenme algoritması temsilciyi bir simülatörde 500 adım eğitilerek sonuçlar gözlemlenmiştir. Simulator aracılığıyla yapılan

otonom yol planlamasında temsilci tarafından yönlendirilen robotun hareketleri raporlanmıştır. Eğitim sonucunda alınan ortalama ödüller incelendiğinde LSTM in başarısı görünmektedir. Bunun başlıca sebeplerinden biri tekrarlayan sinir ağ yapısı ve hafıza olmasıdır. Ayrıca ödül-adım grafikleri incelendiğinde CNN algoritmasında eğitim için 500 adımın yeterli olmadığı görülmüştür. İleriki çalışmalarda adım sayısını daha fazla arttırarak eğitim gerçekleştirilirse farklı sonuçlar alınabilir

Kaynaklar

- [1] Z. Tong, H. Chen , X. Deng, K. Li ve K. Li, A. Scheduling scheme in the cloud computing environment using deep Q –learning. Information Sciences 2020: 1171-1191.
- [2] L. A. Baxter. Markov decision processes: Discrete stochastic dynamic programming. Technometrics 1995; 37(3): 353-353.
- [3] C. J. Watkins ve P. Dayan. Q-Learning. Machine Learning 1992;3(8): 279-292.
- [4] C. Berner, G. Brockman, B. Chan, V. Cheung, C. Dennison, D. Farhi, Q. Fischer, S. Hashme, C. Hesse, R. Józefowicz, S. Gray, C. Olsson, J. Pachocki, M. Petrov, H. P. d. O. Pinto, J. Raiman, T. Salimans, J. Schlatter, J. Schneider, S. Sidor, . I. Sutskever, J. Tang, F. Wolski ve S. Zhang. Dota 2 with large scale deep reinforcement learning. arXiv:1912.06680v1 2019.
- [5] O. Vinyals, I. Babuschkin, W. M. Czarnecki, M. Mathieu, A. Dudzik, J. Chung, D. H. Choi, R. Powell, T. Ewalds, P. Georgiev, J. Oh, D. Horgan, M. Kroiss, I. Danihelka, A. Huang, L. Sifre ve T. Cai. Grandmaster level in StarCraft II using multi-agent reinforcement learning. Nature 2019;575: 350-354.
- [6] M. Jaderberg, W. M. Czarnecki, I. Dunning, L. Marris, G. Lever, A. G. Castañeda, C. Beattie, N. C. Rabinowitz, A. S. Morcos, A. Ruderman ve N. Sonnerat. Human-level performance in 3D multiplayer games with population-based reinforcement learning. Science 2019;364:859-865.
- [7] A. Graves, G. Wayne, . M. Reynolds, T. Harley, . I. Danihelka, S. G. Colmenarejo, E. Grefenstette, . T. Ramalho ve J. Agapiou. Hybrid computing using a neural network with dynamic external memory. Nature 2016; 538: 471-476.
- [8] G. Wayne, C.-C. Hung, D. Amos, M. Mirza, A. Ahuja, A. Grabska-Barwinska, J. Rae, P. Mirowski, J. Z. Leibo, M. Gemicci, M. Reynolds, T. Harley, J. Abramson, S. Mohamed, D. Rezende, D. Saxton ve A. Cain. Unsupervised predictive memory in a goal-directed agent. arXiv:1803.10760, 2018.
- [9] S. W. Kaled ve Y. Sırma. Image visual sensor used in health-care navigation in indoor scenes using deep reinforcement learning (drl) and control sensor robot for patients data health information. Journal of Medical Imaging and Health Informatics 2021;11(1).
- [10] I. Akkaya, A. Marcin, C. Maciek, L. Mateusz, M. Bob, P. Arthur, P. Alex, M. Plappert ve P. Glenn. Solving rubik’s cube with a robot hand. arXiv:1910.07113 2019.
- [11] S. Latif, H. Cuayáhuitl, F. Pervez, F. Shamshad, H. S. Ali ve E. Cambria. A survey on deep reinforcement learning for audio-based applications. arXiv:2101.00240 2021.
- [12] T. Rajapakshe, R. Rana ve S. Khalifa. A novel policy for pre-trained deep reinforcement learning for speech emotion recognition. arXiv:2101.00738 2021.
- [13] M. Luong ve C. Pham. Incremental learning for autonomous navigation of mobile robots based on deep reinforcement learning. Journal of Intelligent & Robotic Systems 2020;101(1): 1-11.
- [14] C. Yan, X. Xiang ve C. Wang. Towards real-time path planning through deep reinforcement learning for a uav in dynamic environments. Journal of Intelligent & Robotic Systems 2020; 98: 297-309.
- [15] S. Wen, Y. Zhao, X. Yuan, Z. Wang, D. Zhang ve L. Manfredi. Path planning for active SLAM based on deep reinforcement learning under unknown environments. Intelligent Service Robotics 2020; 1-10.

- [16] S. Guo, X. Zhang, Y. Zheng ve Y. Du. An autonomous path planning model for unmanned ships based on deep reinforcement learning. *Sensors* 2020; 20(2): 426-440.
- [17] L. He, N. Aouf ve B. Song. Explainable deep reinforcement learning for uav autonomous path planning. *Aerospace science and technology* 2021;118.
- [18] P. Li, M. A. Aty ve J. Yuan. Real-time crash risk prediction on arterials based on LSTM-CNN. *Accident Analysis & Prevention*, 2020.
- [19] Z. Tan ve M. Karaköse. On-Policy deep reinforcement learning approach to multi agent problems. In *Interdisciplinary Research in Technology and Management*, Kolkata 2021.
- [20] B. Bulut, V. Kalın, B. B. Güneş ve R. Khazhin. Deep learning approach for detection of retinal abnormalities based on color fundus images. *2020 Innovations in Intelligent Systems and Applications Conference (ASYU)*, İstanbul,Türkiye 2020.
- [21] S.Bozkurt. Derin öğrenme algoritmaları kullanılarak çay alanlarının otomatik segmentasyonu, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul 2018.
- [22] M. M. Ejaz, T. B. Tang ve C.-K. Lu. Autonomous visual navigation using deep reinforcement learning: An Overview. *IEEE Student Conference on Research and Development*. Bandar Seri Iskandar, Malezya 2019.
- [23] D. Silver, A. Huang, C. Maddison, A. Guez, L. Sifre ve V. Den. Mastering the game of go with deep neural networks and tree search. *Nature* 2016; 529: 484-495.
- [24] S. Carta, A. Ferreira, A. S. Podda, D. R. Recupero ve A. Sanna. Multi-DQN: An ensemble of deep q-learning agents for stock market forecasting. *Expert Systems with Applications* 2021;164.
- [25] V. Mnih, K. Kavukcuoglu, D. Silver, A. A. Rusu, J. Veness, M. G. Bellemare, A. Graves, M. Riedmiller, A. K. Fidjeland, G. Ostrovski, S. Petersen, C. Beattie, A. Sadik, I. Antonoglou, H. King, D. Kumaran, D. Wierstra, S. Legg ve D. Hassabis. Human-level control through deep reinforcement learning. *Nature* 2015: 529-533.
- [26] Y. LeCun, Y. Bengio ve G. Hinton. Deep Learning. *Review* 2015; 521:436-450.
- [27] S. Dupond. A thorough review on the current advance of neural network structures. *Annual Reviews in Control* 2019;14: 200-230.
- [28] A. Tealab. Time series forecasting using artificial neural networks methodologies: A systematic review. *Future Computing and Informatics Journal* 2018; 3(2): 334-340.
- [29] F. Rundo. Deep LSTM with reinforcement learning layer for financial trend prediction in fx high frequency trading systems. *Applied Sciences* 2019; 20(9): 44-60.
- [30] M. Hibat-Allah, M. Ganahl, L. E. Hayward, R. G. Melko ve J. Carrasquilla. Recurrent neural network wave functions. *Physical Review Research* 2020;2(2).
- [31] X. Li, L. Li, J. Gao, X. He, J. Chen, L. Deng ve J. He. Recurrent reinforcement learning: A hybrid approach. *arXiv:1509.0344*, 2015.
- [32] S. Hochreiter ve J. Schmidhuber. Long short-term memory. *Neural Computation* 1997; 9(8): 1735–1780.
- [33] Z. Qun, L. Xu ve G. Zhang. LSTM neural network with emotional analysis for prediction of stock price. *Engineering Letters* 2017; 25(2).
- [34] Y. Bengio, P. Simard ve P. Frasconi. Learning long-term dependencies with gradient descent is difficult. *IEEE Transactions on Neural Networks* 1994;5(2):157-166.
- [35] A. Sherstinsky. Fundamentals of recurrent neural network (rnn) and long short-term memory (LSTM) network. *Physica D: Nonlinear Phenomena* 2020; 404.
- [36] F. Shahid, A. Zameer ve M. Muneeb. Predictions for COVID-19 with deep learning models of LSTM, GRU and Bi-LSTM. *ScienceDirect* 2020; 140.

- [37] H. Fan, M. Jiang, L. Xu, H. Zhu, J. Cheng ve J. Jiang. Comparison of long short term memory networks and the hydrological model in runoff simulation. *Water* 2020; 12(1): 175-180.
- [38] Z. Tan ve M. Karaköse. Proximal policy based deep reinforcement learning approach for swarm robots. In *2021 Zooming Innovation in Consumer Technologies Conference (ZINC)*. Novi Sad, 2021.
- [39] S. Ha, J. Kim ve K. Yamane. Automated deep reinforcement learning environment for hardware of a modular legged robot. *15th International Conference on Ubiquitous Robots 2018*:348-354.
- [40] A. Ramaswamy. Theory of deep q-learning: a dynamical systems perspective. arXiv:2008.10870v1, 2020.
- [41] R. S. Sutton ve A. G. Barto. *Reinforcement Learning: An Introduction*. London: MIT Press, 2015.
- [42] T. T. Nguyen, N. D. Nguyen ve S. Nahavandi. Deep Reinforcement Learning for Multiagent Systems: A Review of Challenges, Solutions, and Applications. *IEEE Transactions on Cybernetics* 2020; 50(9).
- [43] S. Bhagat, H. Banerjee, Z. T. H. Tse ve H. Ren. Deep reinforcement learning for soft, flexible robots: brief review with impending challenges. *Robotics*, 2019.
- [44] J. Qi, J. Du, S. M. Siniscalchi, X. Ma ve C.-H. Lee. On mean absolute error for deep neural network based vector-to-vector regression. *IEEE Signal Processing Letters* 2020;27: 1485 – 1489.
- [45] Z. Tan ve M. Karaköse. Comparative evaluation for effectiveness analysis of policy based deep reinforcement learning approaches. *International Journal of Computer and Information Technology* 2021;10(3): 1-15.