



ADIYAMAN ÜNİVERSİTESİ

Mühendislik Bilimleri Dergisi

Journal of Engineering Science
of Adiyaman University

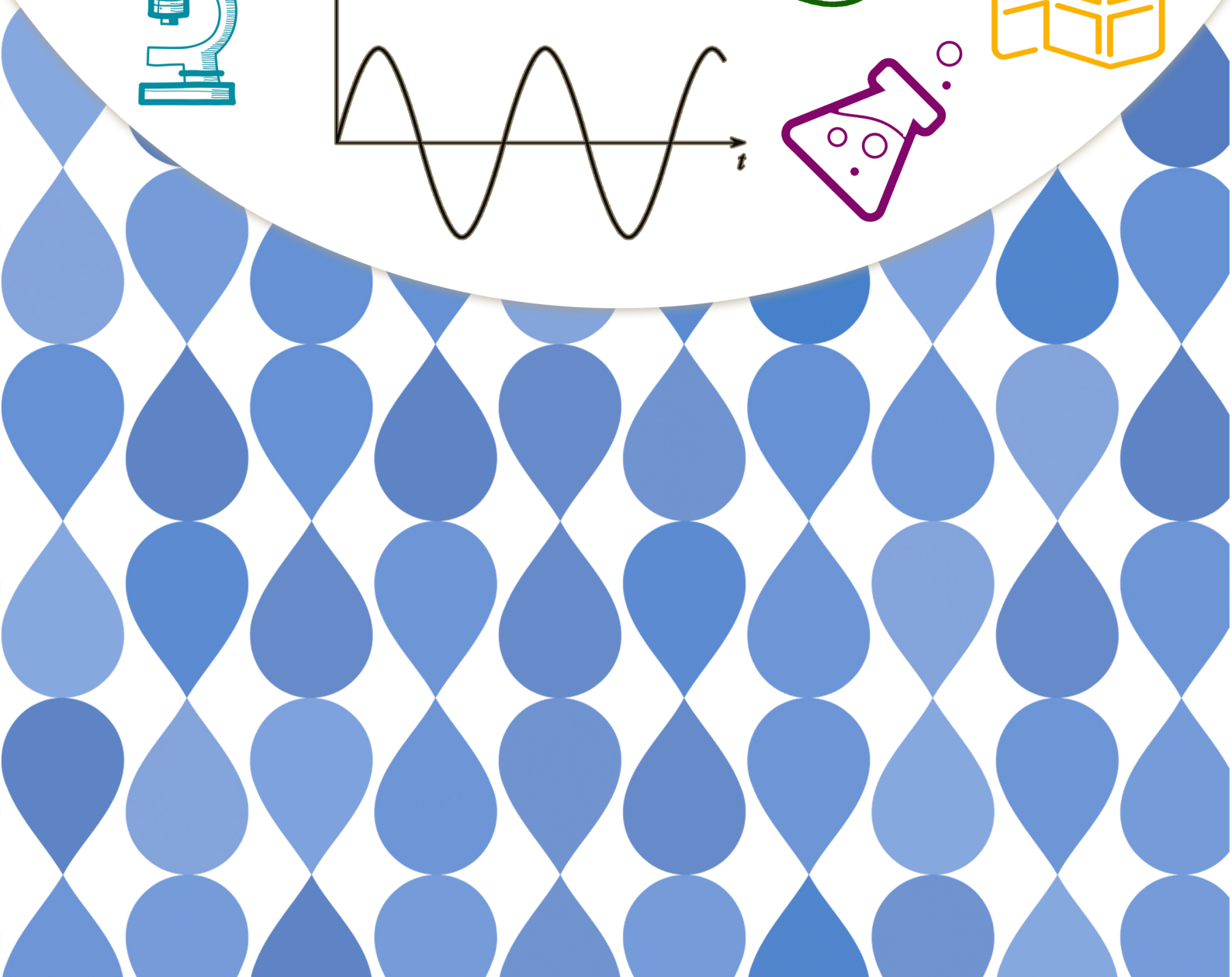
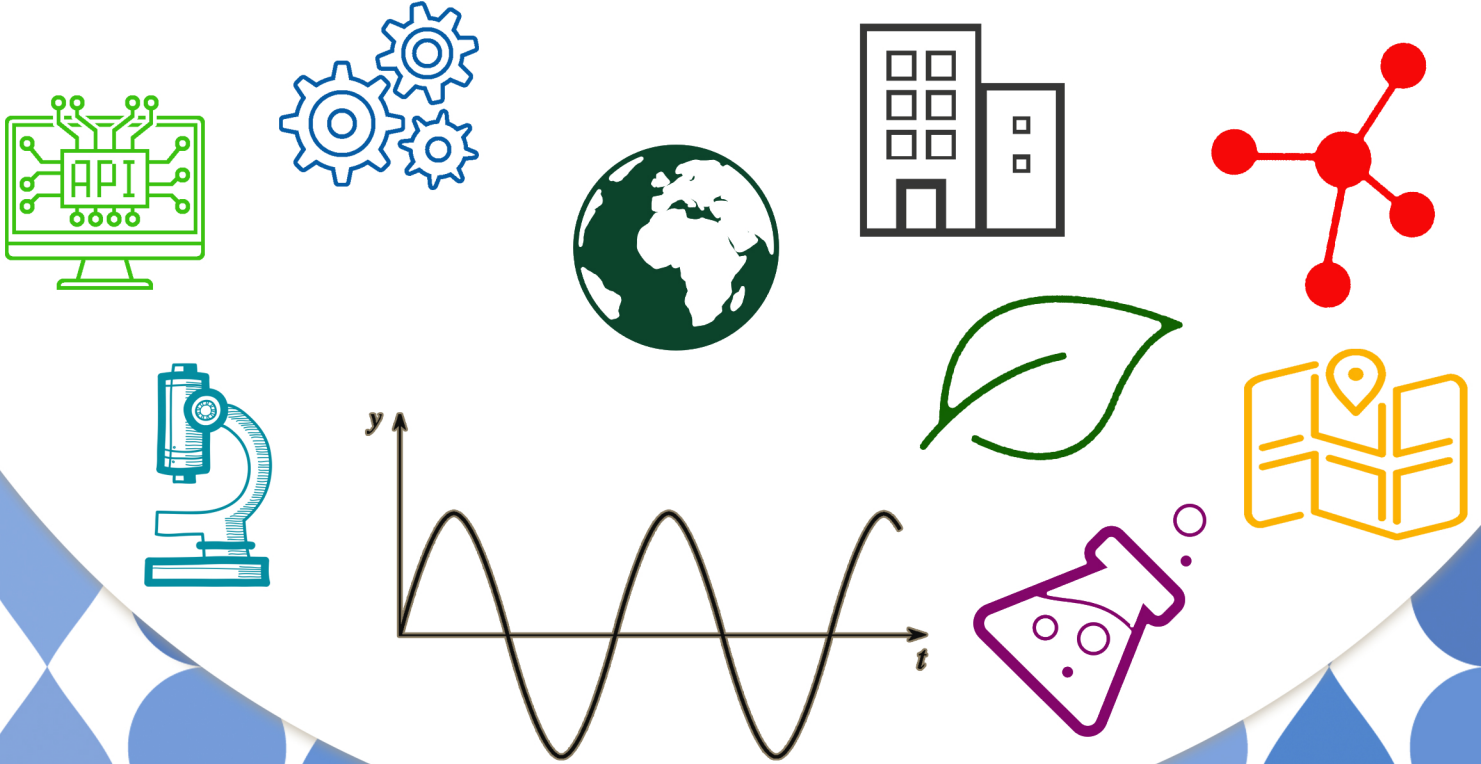
ISSN: 2149-0309

CİLT
VOLUME 9

SAYI
ISSUE 17

AĞUSTOS
AUGUST

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:17

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
Prof. Dr. Tanju TEKER	tanjuteker@cumhuriyet.edu.tr	İmalat Mühendisliği, Malzeme Teknolojileri
Doç. Dr. Zuhâl KARAGÖZ	zgenc@adiyaman.edu.tr	Metalurji ve Malzeme Mühendisliği
Arş. Gör. Abuzer DOĞAN	abuzerdogan@adiyaman.edu.tr	Bilgisayar Mühendisliği

İÇİNDEKİLER- CONTENTS

1- EXPERIMENTAL INVESTIGATION of DOUBLE AGING HEAT TREATMENT of INCONEL 718 MONOBLOCK GAS TURBINE DISC IN A SALT BATH– “Research Article”

INCONEL 718 MONOBLOK GAZ TÜRBİN DİSKİNİN TUZ BANYOSUNDA ÇİFT YAŞLANDIRMA ISIL İŞLEMİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ– “Araştırma Makalesi”

Alper KELEŞOĞLU, Nergiz KANMAZ..... 263-272

2- KONVOLÜSYONEL SİNİR AĞI KULLANILARAK SITMA HASTALIĞI SINIFLANDIRILMASI– “Araştırma Makalesi”

MALARIA DISEASE CLASSIFICATION USING CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK– “Research Article”

İbrahim ÇETİNER 273-286

3- UÇUCU KÜL İNCELİĞİNİN BETONUN SÜLFAT DİRENCİ ÜZERİNE ETKİSİ– “Araştırma Makalesi”

EFFECT OF FLY ASH FINENESS ON SULFATE RESISTANCE OF CONCRETE– “Research Article”

Demet DEMİR ŞAHİN, Hasan EKER, Mustafa ÇULLU 287-303

4- UÇUCU KÜL ESASLI HAFİF GEOPOLİMER HARÇLARIN BASINÇ VE RÖTRE SONUÇLARININ İSTATİSTİKSEL ANALİZİ VE MODELLENMESİ– “Araştırma Makalesi”

STATISTICAL ANALYSIS AND MODELING OF COMPRESSION AND SHRINKAGE RESULTS OF FLY ASH BASED LIGHTWEIGHT GEOPOLYMER MORTARS– “Research Article”

Şevin EKMEN, Kasım MERMERDAŞ, Zeynep ALGIN..... 304-318

5- YALOVA İLİ SÜLEYMANBEY MAHALLESİNDE BULUNAN PROJE ALANININ NONLİNEER SİSMİK SAHA TEPKİSİ KULLANILARAK SIVILAŞMA POTANSİYELİNİN İNCELENMESİ– “Araştırma Makalesi”

INVESTIGATION OF LIQUEFACTION POTENTIAL UTILIZING NONLINEAR SEISMIC SITE RESPONSE OF THE PROJECT AREA LOCATED IN YALOVA PROVINCE SÜLEYMANBEY DISTRICT– “Research Article”

Merve GÜNEŞ, Arda Burak EKMEN 319-332

6- LÖKOSİT TESPİTİ İÇİN BEYAZ KAN HÜCRELERİNİN ESA KULLANILARAK SINIFLANDIRILMASI–
“Araştırma Makalesi”

CLASSIFICATION OF WHITE BLOOD CELLS USING CNN FOR THE DETECTION OF LEUCOCYTE–
“Research Article”

Mücella ÖZBAY KARAKUŞ, Erdal ÖZBAY 333-344

7- DETERMINATION OF A FIELD HOSPITAL LOCATION WITH MCDM TECHNIQUES FOR COVID-
19 AND ANY OTHER PANDEMICS IN FUTURE – “Research Article”

COVID-19 VE GELECEKTEKİ DİĞER PANDEMİLER İÇİN ÇKKV TEKNİKLERİYLE BİR SAHRA
HASTANESİNİN YERİNİN BELİRLENMESİ – “Araştırma Makalesi”

G. Nilay YÜCENUR 345-359

8- THE EFFECT OF USING PALMITIC ACID ON A SOLAR POND TEMPERATURE DISTRIBUTION –
“Research Article”

PALMITİK ASİT KULLANIMININ GÜNEŞ HAVUZUNUN SICAKLIK DAĞILIMI ÜZERİNE ETKİSİ –
“Araştırma Makalesi”

Haci SOĞUKPINAR, Zuhâl KARAGÖZ GENÇ, İsmail BOZKURT, Ayşe Mine KÜÇÜKKAYA 360-365

9- AN IMPROVED ARTIFICIAL ATOM ALGORITHM WITH THE OPERATOR OF SHUFFLED FROG
LEAPING ALGORITHM – “Research Article”

ADAPTİF KURBAĞA SIÇRAMA ALGORİTMASININ OPERATÖRÜ İLE GELİŞTİRİLMİŞ YAPAY ATOM
ALGORİTMASI – “Araştırma Makalesi”

Ayşe Erdoğan Yıldırım..... 366-383

10- POMZA, AMORF SİLİKA VE KOLEMANİT KATKILI BASKI VE SOL JEL YÖNTEMİ KULLANILARAK
POLYESTER KUMAŞLARIN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ – “Araştırma Makalesi”

IMPROVING THE PHYSICAL PROPERTIES OF POLYESTER FABRIC BY USING PUMICE,
AMORPHOUS SİLİCA AND COLEMANİTE ADDITIVE PRINTING AND SOL GEL METHODS –
“Research Article”

Kadri AKÇALI, Meliha OKTAV BULUT 384-403

11- YAPI MALZEMELERİNİN GEOPOLİMER HARÇ ÜRETİMİNDE KUM OLARAK GERİ
DÖNÜŞTÜRÜLMESİNİN İNCELENMESİ – “Araştırma Makalesi”

INVESTIGATION OF RECYCLING OF BUILDING MATERIALS AS SAND IN THE PRODUCTION OF
GEOPOLYMER MORTAR – “Research Article”

Süleyman İPEK, Şevin EKMEK..... 404-419

12- ŞANLIURFA İLİ KIRSALINDA İÇME SUYU KAYNAKLARINDAKİ NİTRAT KİRLENMESİNİN İYON DEĞİŞİMİ METODU İLE ARITILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI – “Araştırma Makalesi”

INVESTIGATION OF THE PURIFICATION OF NITRATE POLLUTION IN DRINKING WATER RESOURCES IN THE COUNTRYSIDE OF ŞANLIURFA PROVINCE BY ION EXCHANGE METHOD
“Research Article”

Mustafa ASOĞLU, Yakup CUCİ, Mehmet Fatih DİLEKOĞLU 420-430

13- ORTA YÜKSEKLİKTEKİ BİNALAR İÇİN TBDY 2018 YÖNETMELİĞİNDE VERİLEN TAŞIYICI SİSTEM TİPLERİNİN DOĞRUSAL ANALİZ YÖNTEMİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI – “Araştırma Makalesi”

COMPARISON OF STRUCTURAL SYSTEM TYPES GIVEN IN TBEC 2018 CODE FOR MID-RISE BUILDINGS WITH LINEAR ANALYSIS METHOD – “Research Article ”

İsmail ÜNSAL, Nurullah BALCA, Mehmet Fatih ŞAHAN 431-446

14- MULTI-LABEL TEXT ANALYSIS WITH A CNN AND LSTM BASED HYBRID DEEP LEARNING MODEL – “Research Article”

CNN VE LSTM TABANLI HİBRİT BİR DERİN ÖĞRENME MODELİ İLE ÇOK ETİKETLİ METİN ANALİZİ – “Araştırma Makalesi”

Halit ÇETİNER 447-457

15- LACCASE PRODUCTION BY NEWLY ISOLATED GANODERMA LUCIDUM WITH SOLID STATE FERMENTATION CONDITIONS AND ITS USING FOR DYE DECOLORIZATION– “Research Article”

YENİ İZOLE EDİLMİŞ GANODERMA LUCIDUM İLE KATI HAL FERMANTASYONU KOŞULLARINDA LAKKAZ ÜRETİMİ VE BOYA RENK GİDERİMİNDE KULLANILMASI – “Araştırma Makalesi”

Filiz BORAN, Özfer YEŞİLADA..... 458-470

EXPERIMENTAL INVESTIGATION of DOUBLE AGING HEAT TREATMENT of INCONEL 718 MONOBLOCK GAS TURBINE DISC IN A SALT BATH

Alper KELEŞOĞLU¹, Nergiz KANMAZ^{2*}

¹ Sistem Teknik Industrial Furnaces R&D Center, 41420, Cayirova, Kocaeli, Turkey

² Yalova University, Faculty of Engineering, Department of Chemical Engineering, 77200, Yalova, Turkey

Geliş Tarihi/Received Date: 11.10.2021 Kabul Tarihi/Accepted Date: 18.01.2022 DOI: 10.54365/adyumbd.1008369

ABSTRACT

The heat treatment of Inconel 718 (In718) monoblock gas turbine discs are mainly done by vacuum furnaces. Despite the vacuum furnaces allow to make a clean and reliable heat treatment, its operation costs affects the final product's cost. In this work, as an alternative to the vacuum furnaces, the double aging heat treatment of In718 disc in a salt bath was investigated. The appropriate temperature for high and low temperature salt bath was identified in order to achieve necessary cooling rates of 125°C/min and 120°C/min for a 400 kg workpiece. It is shown that the heat treatment could be done when the high and low temperature salt baths temperatures are equal to 300°C. It is also found that the heat transfer coefficient for simulation could be taken as 650 W/m².K regardless to the salt bath temperature.

Keywords: Salt Bath, Aging, Heat Transfer Coefficient, Superalloy, Simulation

INCONEL 718 MONOBLOK GAZ TÜRBİN DİSKİNİN TUZ BANYOSUNDA ÇİFT YAŞLANDIRMA ISIL İŞLEMİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ

ÖZET

Inconel 718 (In718) monoblok gaz türbini disklerinin ısı işleme esas olarak vakum fırınları ile yapılmaktadır. Vakum fırınları temiz ve güvenilir bir ısı işlem yapılmasına izin verse de; işletme maliyetleri nihai ürünün maliyetini etkilemektedir. Bu çalışmada, vakumlu fırınlara alternatif olarak In718 diskinin tuz banyosunda çift yaşlandırma ısı işlemi incelenmiştir. 400 kg'lık bir iş parçası için gerekli olan 125°C/dk ve 120°C/dk soğutma hızlarını elde etmek için yüksek ve düşük sıcaklıklı tuz banyosu için uygun sıcaklık belirlenmiştir. Isıl işlemin, yüksek ve düşük sıcaklıklı tuz banyoları sıcaklıkları 300°C'ye eşit olduğunda yapılabileceği gösterilmiştir. Simülasyon için ısı transfer katsayısının tuz banyosu sıcaklığından bağımsız olarak 650 W/m².K alınabileceği de bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Tuz banyosu, Yaşlandırma, Isı Transfer Katsayısı, Süper Alaşım, Simülasyon

1. Introduction

In the aerospace industry, system components require high temperature and pressure resistance throughout their service life. The thermo-physical properties and creep-rupture properties of the components are highly dependent on the microstructure of the alloy [1]. Selection of the heat treatment method is important to ensure precise control of fines and homogeneous microstructure [2]. The term "superalloy" was first used after World War II. Superalloys are materials containing high amounts of

*¹e-posta: alper.kelesoglu@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7139-6653>

²e-posta: nergizkanmaz@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5598-4911> (Sorumlu Yazar)

chromium, low amounts of tungsten, molybdenum, aluminium and titanium, based on iron, cobalt or nickel. The most important feature of superalloys is their resistance to high pressure and temperatures. It has superior tensile and friction resistance at extreme conditions. Superalloy materials are used in nuclear reactors, submarines and ships, aircraft, gas turbines, space vehicles, thermal power plants, rocket engines and many more [3]. Among from them, In718 is the most preferred superalloy in the aviation industry [4].

The term "superalloy" was first used after World War II. Superalloys are materials containing high amounts of chromium, low amounts of tungsten, molybdenum, aluminium and titanium, based on iron, cobalt or nickel. The most important feature of superalloys is their resistance to high pressure and temperatures. It has superior tensile and friction resistance at extreme conditions. Superalloy materials are used in nuclear reactors, submarines and ships, aircraft, gas turbines, space vehicles, thermal power plants, rocket engines and many more [3]. Among from them, In718 is the most preferred superalloy in the aviation industry [4].

Inconel 718 (In718) features face-centered cubic (fcc), body-centered cubic (bcc), hexagonal closed-pack (hcp), and body-centered quadrangular (bct) crystallographic lattices. These are made of austenitic fcc matrix γ (gamma phase), as well as secondary phases: gamma prime γ' face ordered $\text{Ni}_3(\text{Al}, \text{Ti})$; gamma double prime γ'' bct ordered Ni_3Nb ; eta (η) hexagonal ordered Ni_3Ti ; delta (δ) orthorhombic Ni_3Nb intermetallic compounds and other topologically closed-packed structures such as μ and Laves phases [5]. Alloys include bcc transition metals such as Nb, Cr and Ta for these phases. The microstructural properties of superalloys are improved using heat treatment techniques. As the solution annealing process, which is the first part in the heat treatment of precipitation hardening alloys, recrystallization, homogenization and dissolution of the phases in the fcc matrix structure, dissolving the carbides at the grain boundaries and grain growth, high creep-rupture resistance are expected [6].

For several applications, Ni-based superalloys are emphasized as solution annealed and precipitation hardened. The Inconel grades of the Ni-based superalloys are hardened with the precipitation of the gamma prime and carbides as a secondary phase inside the metal matrix [7]. The quenching process after solution treating done in the air for a single crystal superalloy and that can be taken a lot of time when air is used as a quenching agent. As a solution for shortening this period, vacuum furnaces are chosen by using pressurized argon or nitrogen; but the process cost is very high. However, vacuum furnaces with high pressure gas quenching (HPGQ) has a limited application area when considering the workpiece thickness. The HPGQ effectiveness is reduced when the workpiece thickness getting higher. Thus much more pressure is needed in order to cool the workpiece homogeneously. This is economically not possible in such cases where the thickness is above the critical limit for HPGQ. Thus another alternative cooling medium is needed for thicker workpieces. Strength can be increased by precipitation of additional amounts of secondary phases from the supersaturated matrix developed by solution treatment with aging processes. In the In718 heat treatment, which is generally double-aged, the tank is brought back to the aging temperature after quenching, and this causes large energy losses and the use of extra equipment (such as water quench tank and tempering furnace). As a consequence, salt bath is an emerging alternative when considering energy efficiency and high process costs to the vacuum furnaces. With the use of a high temperature salt bath, both the cooling rates expected from the quenching process can be achieved and there is no need for secondary and tertiary temper heating [4]. In this respect, the developed system has a more compact structure and provides energy savings. For this process the critical cooling rates of the material between 1150°C to 950°C and 950°C to 750°C are determined as $125^\circ\text{C}/\text{min}$ and $120^\circ\text{C}/\text{min}$, respectively [1].

The heat treatment studies for In718 mainly focused to identify the phase precipitation on behalf of the metallurgical aspect. Nearly none of them quantified the heat transfer during the process. On the other hand, the cooling rate curves are belong to the laboratory scale experimental setup. In this work, the double aging heat treatment of In718 monoblock gas turbine disc in a salt bath was investigated in

a industrial scale heat treatment facility. In this context, the appropriate salt bath temperature for high and low temperature salt bath was identified in order to achieve necessary cooling rates of 125°C/min and 120°C/min for a 400 kg workpiece. 300°C, 400°C and 500°C salt bath temperatures were considered for experiments. On the other hand, simulations were performed to find the heat transfer coefficient during aging processes.

2. Material and Method

2.1. Workpiece

The massive workpiece used in this research has a hollow disc shape as shown in Figure 1. The geometry of the workpiece is prepared by considering the high pressure gas turbine rotor disc which mass equal to 400 kg. It has 800 mm outer and 107 mm inner diameter with changing thickness from 106 mm to 165 mm. In order to measure the temperature homogeneity during heat treatment, two N-type thermocouples (TC) were located on the workpiece. The locations of the TC1 and TC2 were chosen by considering the thickest and thinnest cross section position of the core which is illustrated on Figure 1 by detail B and C.

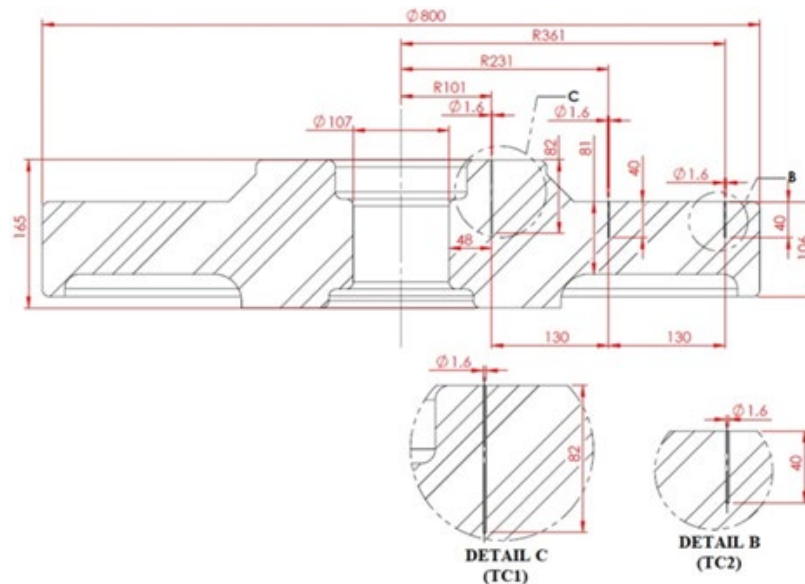


Figure 1. Test sample and thermocouple locations

2.2. Salt Bath Facility

The double aging heat treatment of the In718 alloy was conducted by a salt bath facility which was manufactured by Sistem Teknik Industrial Furnaces with the serial number BF-EH-A-100907-08 as shown in Figure 2. The explanation of the components of the facility is given as follows;

1: Annealing Furnace: Used to heat the workpiece under atmospheric pressure from room temperature to 1150°C. The heating power and useful dimensions of the annealing furnace are 200 kW and width: 1000 mm, height: 700 mm, length: 900 mm, respectively.

2: High Temperature Salt Bath: Used to quench the workpiece under atmospheric pressure from 1150°C to 950°C. The heating power and useful dimensions of the high temperature salt bath is 400

kW and diameter: 1800 mm, height: 1700 mm, respectively. The high temperature salt bath was agitated with two circulators.

3: Low Temperature Salt Bath: Used to quench the workpiece under atmospheric pressure from 950°C to 750°C. The heating power and useful dimensions of the low temperature salt bath is 180 kW and width: 1300 mm, height: 1700 mm, length: 1800 mm, respectively. The high temperature salt bath was agitated with one circulator.

4: Spare Salt Bath: Used to store the molten salt during maintenance of the high and low temperature salt bath. The heating power and useful dimensions of the spare salt bath is 90 kW and diameter: 1800 mm, height: 2300 mm, respectively.

5: Rinsing Tank: Used to eliminate the contaminated salt particles from the workpiece. The useful dimensions of the rinsing tank are width: 2000 mm, height: 1800 mm, length: 2000 mm.

6: Manipulator: Used to transport the workpiece to the desired location. The maximum load capacity and minimum linear movement velocity of the manipulator is 1000 kg and 0.2 m/s.

7: Salt Recovery Unit: Used to regain the dissolved salt from the rinsing tank.

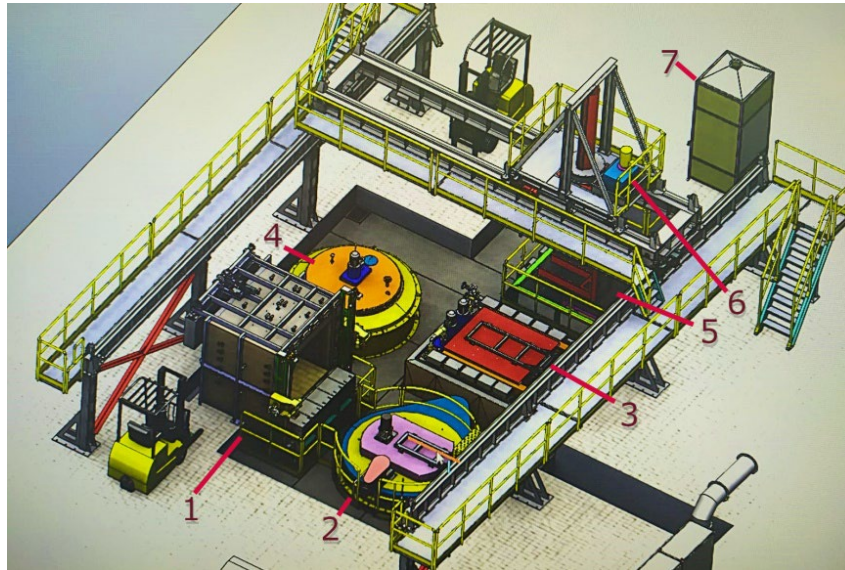


Figure 2. Experimental facility

2.3. Experimental Procedure

In the experiments, the double aging heat treatment was done by following the heat treatment recipe is given at Figure 3. According to the recipe, the workpiece was heated in the annealing furnace in order to perform solution annealing process from room temperature (25°C) to the 1150°C. After that, for the first aging process, the workpiece was delivered to the high temperature salt bath via manipulator in order to reduce the workpiece temperature from 1150°C to 950°C with 125°C/min ramp. Then the workpiece was delivered to the low temperature salt bath via manipulator, in order to reduce the workpiece temperature from 950°C to 750°C with 120°C/min ramp. The schematic representation of the recipe is given at Figure 4. The TTT (Time-Temperature-Transformation) diagram shows the first step allows precipitation of Ni_3Nb inside the γ phase. Then additional 1 hour is done to get $\gamma'-\gamma''$ strengthening phase [8]. In order to ignore the heat losses to the surrounding atmosphere, the manipulator transportation time kept between 5-10 second. In the experiments, HEF Durferrit GS-230 salt was used in the both high and low temperature salt bath. GS-230 salt is used for quenching and tempering applications above 300°C and the salt properties are given in Table 1.

Table 1. GS-230 Salt Properties

Property	Value	Unit
Working Temperature Range	270-600	°C
Melting Temperature	250	°C
Bulk Density	1700	kg/m ³
Heat Capacity at Constant Pressure	1510	J/kg.K
Thermal Conductivity	8.65	W/m.K

In order to determine the appropriate salt temperature to catch the necessary cooling rate at the high and low temperature salt bath, the temperature of the both salt baths are changed from 300°C to 500°C with 100°C increment. The temperature values were recorded by Hioki LR8400-20 type data logger.

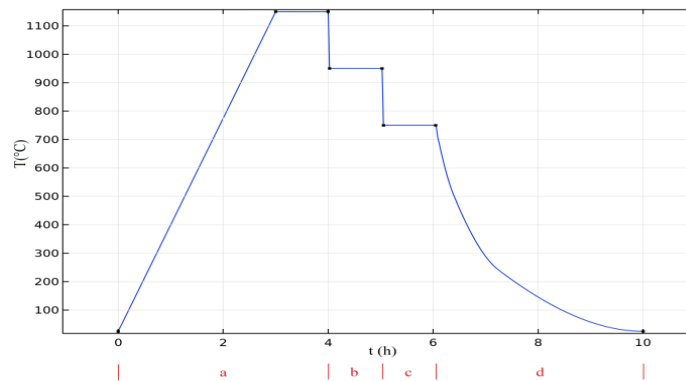


Figure 3. Heat treatment recipe, a) Annealing Furnace, b) High temperature Salt Bath, c) Low Temperature Salt Bath, d) Air

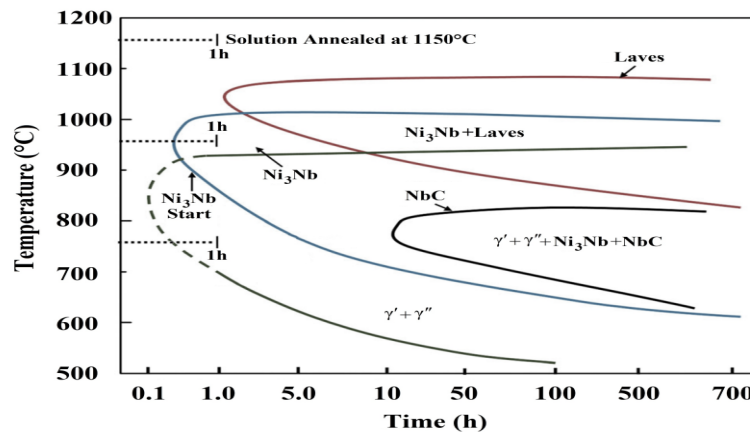


Figure 4. Illustration of designed heat treatment process on In718 TTT diagram

2.4. Simulation Procedure

The simulations were conducted by considering the changing salt bath temperatures via Comsol Multiphysics. The main purpose of the simulations is to determine the heat transfer coefficients. In the simulations, the hollow disk geometry was imported to the model firstly, and then the arbitrary heat transfer coefficients found in the literature was defined on the exterior boundaries of the geometry [4].

The model was investigated under transient study. It was thought that the properties of salt which were given in Table 1 are temperature independent. However, for the In718 workpiece, the pre-determined temperature dependent properties inside the program were chosen. In order to identify the real heat transfer coefficient the inverse method presented on the literature and the experimental temperature values were used [2].

3. Results and Discussion

In this study, double aging heat treatment of monoblock gas turbine disc made of In718 in a molten salt bath was investigated experimentally. Simulations were done to identify the heat transfer coefficient during aging of the workpiece. In this section, it was shown that the aging process could be done in a molten salt bath with appropriate bath temperature.

Figure 5 shows the transportation of the workpiece from annealing furnace to the high temperature salt bath via manipulator. The real and thermal images were taken from the same position for the salt bath temperature 500°C. The emissivity of the thermal camera was set to 0.8 by considering the In718 workpiece. With this value, the maximum temperature on the workpiece was identified with red plus symbol and the corresponding temperature value was measured as 1149°C. It was also observed that the temperature homogeneity on the workpiece without considering the removable oxide layer is quite uniform.

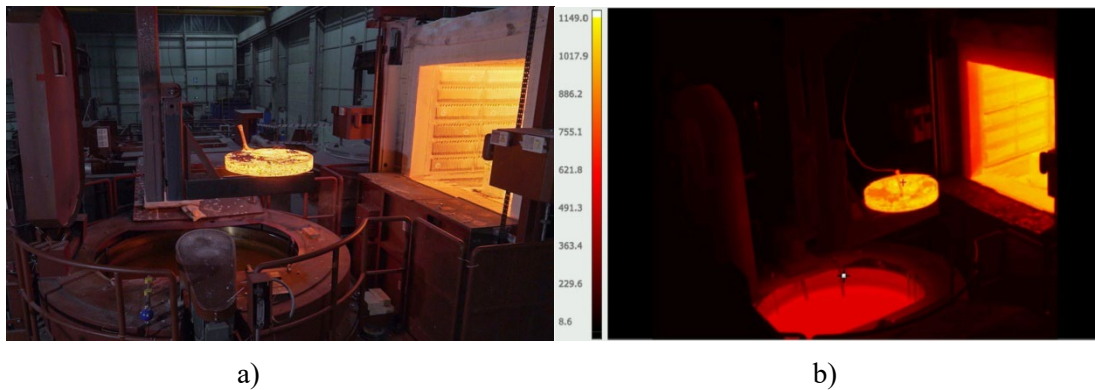


Figure 5. Transportation of the hollow disk, a) real image, b) thermal image

The time-temperature curves of the first and second aging process were given at Figure 6. The first aging process covers the temperature range between 1150°C-950°C in a high temperature salt bath, while the second aging process covers 950°C-750°C in a low temperature salt bath as described in the material and method section. As could be seen in the figure, the workpiece had lost 10°C for each trial while transportation from annealing furnace to the high temperature salt bath. However, this value is so small when considering the workpiece outlet temperature, so it can be ignored. The transportation of the workpiece took 10 s and 12 s from the annealing furnace to the high temperature salt bath and high temperature salt bath to the low temperature salt bath, respectively. In this context, one can say that the workpiece heat loss to the atmosphere equals 1°C/s. The whole aging process is done in 240 s and 500 s in the high and low temperature salt bath, respectively, which is competitive to the vacuum furnace performance [9]. The cooling characteristics of the workpiece under different salt bath temperatures were also changed for both high and low temperature salt baths. It is interesting to note that the cooling characteristic of the workpiece for 400°C and 500°C nearly the same between the 1150°C-950°C, however the main difference had occurred between the 950°C-750°C. The time-temperature curves implied that the relative difference between TC1 and TC2 were reduced when the salt temperature increased. The main reason for this situation is that the relative temperature difference reduces when the salt bath temperature increases and this causes a low heat loss during aging process. Thus, the relative temperature difference of the thicker and thinner section reduces. As a result of this process, the fastest cooling curves were obtained for 300°C salt bath temperature.

On the other hand, in the simulations, 1140°C was considered as an initial temperature value of the workpiece. 650 W/m²K heat transfer coefficient was considered without taking into account the salt bath temperature for all simulation. This value also stays in the limits for the salt bath quenching heat transfer coefficients as described in the literature [9]. These initial and boundary condition caused a good match with the experimental data. However, it was observed that the relative difference between the experimental and simulation temperature values for TC2 is higher than TC1. By knowing that the TC1 was measured the thicker cross section of the workpiece, it may cause rapid heating behavior for the thinner cross section which measured by TC2. It should be also note that the relative error between experimental and simulation were decreased when the salt bath temperature decreased.

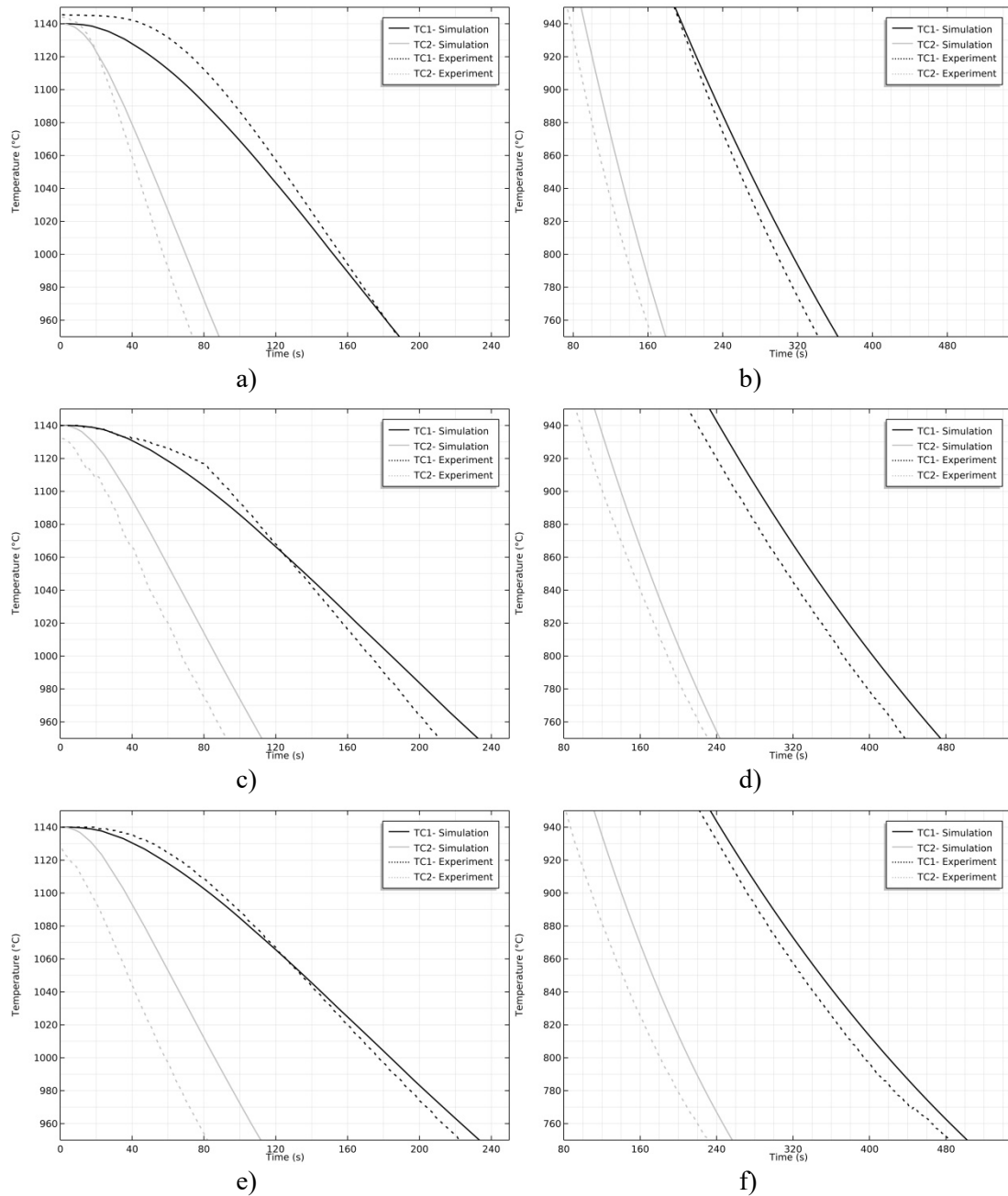


Figure 6. Time-temperature curves of workpiece for 300°C salt bath temperature a) 1150°C-950°C range, b) 950°C-750°C range; for 400°C salt bath temperature c) 1150°C-950°C range, d) 950°C-750°C range; for 500°C salt bath temperature e) 1150°C-950°C range, f) 950°C-750°C range

The total cooling rate curves for 300°C salt bath temperature is given at Figure 7. From the figure, nor the film boiling stage and nor the convection stage is not observed. This is an interesting finding for salt bath aging process. It is well known that the maximum heat transfer is occurred in the bubble boiling phase [9]. Regarding to the curves of Figure 7, it could be said that the whole process happened in the bubble boiling phase and the heat transfer coefficient had maximum value during the whole aging process. On the other hand, the maximum cooling rates of the thicker and thinner section was gathered as 3.4°C/s and 1.67 °C/s, respectively. This result showed that the thicker section requires process time nearly two times more than the thinner section.

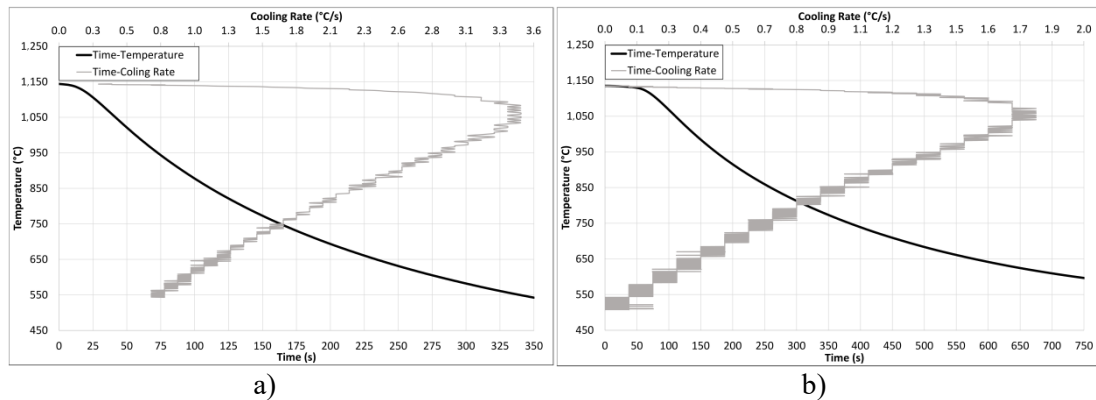


Figure 7. Total cooling rate curves of workpiece for 300°C salt bath temperature, a) For TC1, b) For TC2

Figure 8 represents the averaged cooling rates for different salt bath temperatures. The red straight line shows the necessary cooling rate values for the high and low temperature salt bath. According to the figure, it is observed that 500°C salt bath temperature is not enough to reach the demanding cooling rates for both high and low temperature salt bath. On the other hand, 400°C salt bath temperature is sufficient for high temperature salt bath but not for low temperature salt bath. The optimum operating conditions were achieved for 300°C salt bath temperature.

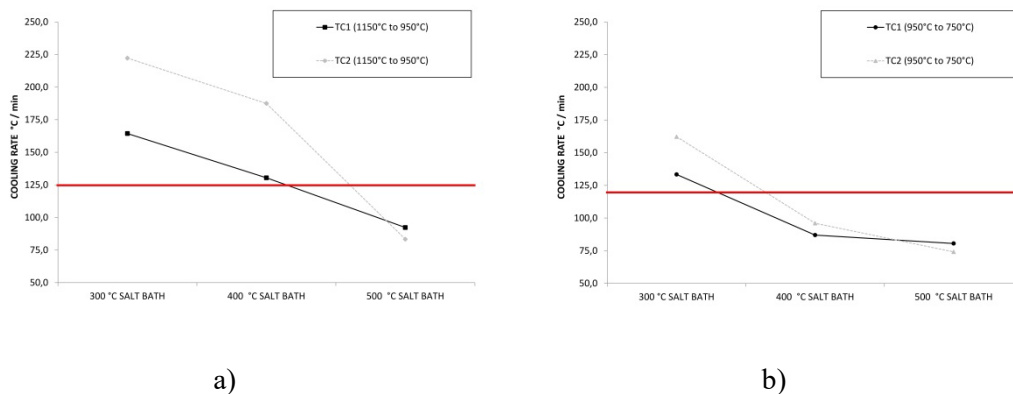


Figure 8. Cooling rate of workpiece between a) 1150°C-950°C range, b) 950°C-750°C range

The high temperature salt bath temperature rise in each trial was obtained as 9.5°C, 10.8°C and 12.0°C for 500°C, 400°C and 300°C, respectively. Considering the 400 kg load and the maximum operation temperature of the GS-230 salt as a 600°C, it could be said that the aging application didn't increased too much load for the continuous process. However, for further processing, the production speed and the workpiece mass should be kept in mind in order to keep the salt bath temperature in a safe range.

4. Conclusion

In this work, the double aging heat treatment of In718 monoblock gas turbine disc was investigated by considering the heat transfer analysis. The outcomes from the experimental and numerical study can be summarized as follows:

- Double aging heat treatment process of monoblock gas turbine discs could be done in a salt bath with considerable heat transfer competitiveness as in HPGQ.
- The cooling rate decreases with increasing salt bath temperature.
- The temperature stability during and after quenching in a salt bath is quite reliable.
- The quenching inside the salt bath does not include film boiling and convection stage. The process occurs only with bubble boiling stage.
- At the same time, the cooling rate of the thicker cross section of the workpiece has two times lower than the thinner cross section.
- The salt bath temperature should be below 500°C in order to get the first metallurgical change for Ni₃Nb with 125°C/min.
- Similarly, to precipitate the γ' - γ'' phases with 120°C/min, the salt bath temperature should be below 400°C.
- The heat transfer coefficient for simulation or first estimation by hand calculation could be taken as 650 W/m².K regardless to the salt bath temperature.

In the future studies, the metallurgical changes after double aging heat treatment process will be focused.

Conflict Of Interest

The authors declare that they have no conflict of interest

Acknowledgement

The authors would like to thank to the HEF-Durferrit Turkey branch general manager Şarkay ŞAŞI for his support and supplying the GS-230 salt properties.

References

- [1] Donachie MJ, Donachie SJ. Superalloys a technical guide, ASM International, Ohio, USA 2002.
- [2] Totten GE, Dossett J. ASM handbook volume 4A: steel heat treating fundamentals and processes, ASM International, Ohio, USA, 2014.
- [3] El-Bagoury N. Ni based superalloy: casting technology, metallurgy, development, properties and applications. International Journal of Engineering Sciences and Research Technology 2016; 5(2) 108-152.
- [4] Candioto KCG, Caliarı FR, Reis DAP, Couto AA, Nunes CA. Characterization of the superalloy Inconel 718 after double aging heat treatment. In: Öchsner A., Altenbach H. (eds) Mechanical and materials engineering of modern structure and component design. advanced structured materials. Springer 2015.
- [5] Donachie M, Donachie S Jr. Superalloys: a technical guide, 2nd edn. ASM International, USA 2002.
- [6] American Society for metals ASM handbook volume 4: heat treatment. ASM International, USA 1991.
- [7] Davis JR. Heat-resistant materials, ASM International, New York, USA 1997.

- [8] Sahu AK, Bag S. Design of double aging treatment for the improvement of mechanical microstructural properties of pulse micro-plasma arc welded alloy 718. *Journal of Material Science* 2021; 56 13400-13415.
- [9] Liscic B, Tensi HM, Canale LCF, Totten GE. *Quenching theory and technology*, CRC Press, Boca Raton, USA 2010.

KONVOLÜSYONEL SİNİR AĞI KULLANILARAK SITMA HASTALIĞI SINIFLANDIRILMASI

İbrahim ÇETİNER^{1*}

¹Teknik Bilimler MYO, Burdur Mehmet Akif Üniversitesi, Burdur, Türkiye

Geliş Tarihi/Received Date: 06.12.2021 Kabul Tarihi/Accepted Date: 08.05.2022 DOI: 10.54365/adyumbd.1033135

ÖZET

Sıtma, sivrisinek ısırması sonucu oluşan bir hastalıktır. Sıtma hastalığını algılama, tanıma ve sınıflandırma gibi işlemler, Plasmodium paraziteli hücrelerin mikroskopik olarak incelenmesine dayanmaktadır. Sıtma paraziti ile enfekte olmuş hücrelerin bilgisayar destekli olarak tanımlanması zorlu bir işittir. Bu zorlu işlemi kolaylaştırabilmek için son zamanlarda popüler hale gelen derin öğrenme yöntemleri ile kırmızı kan hücrelerinde sıtma parazitinin olup olmadığı tespit edilmeye çalışıldı. Bu hastalığın tanısını koyabilmek için gerçekleştirilen sınıflandırmada iki ayrı Konvolüsyonel Sinir Ağı (CNN) modeli geliştirilmiştir. Birinci modelde giriş katmanı olarak önceden eğitilmiş ResNet50V2 mimarisini temel alan derin öğrenme modeli verilmiştir. İkinci modelde ise 23 ağırlıklı katmandan oluşan yeni bir derin öğrenme modeli tasarlanmıştır. Önerilen modelleri eğitebilmek için toplam 27.558 ince kan hücresi görüntüsü kullanıldı. Önerilen modeller ile sıtma hastalığının sınıflandırılmasında %97.53 oranında doğruluk değerine ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: CNN, ResNet50V2, sıtma hastalığı, sınıflandırma

MALARIA DISEASE CLASSIFICATION USING CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK

ABSTRACT

Malaria is a disease that is infected by mosquito bites. Detection, recognition, and classification of malaria are based on microscopic examination of parasitic cells such as Plasmodium. Computer-aided identification of the fine-grained manifestations of infected cells with malaria disease is a challenging task. In order to facilitate this difficult process, it has been tried to determine whether there is malaria in red blood cells with the deep learning methods that have become popular recently. Two different convolutional neural network (CNN) models were developed to diagnose this disease in the classification. In the first model, a deep learning model based on the pre-trained ResNet50V2 architecture is given as the input layer. In the second model, a new deep learning model consisting of 23 weighted layers was designed. A total of 27,558 thin blood cell images were used to train the proposed models. With the proposed models, an accuracy value of 97.53% was obtained in the classification of malaria.

Keywords: CNN, ResNet50V2, malaria, classification

1. Giriş

Sıtma yedi gün veya daha uzun kuluçka süresi olan, sivrisinek kaynaklı ateşli bir hastalıktır [1,2]. Bu hastalık sivrisinek ısırması sonucu parazitlerin hücreyi enfekte etmesi sonucu oluşur. Bu parazitler Plasmodium malariae, Plasmodium Ovale, Plasmodium falciparum ve Plasmodium vivax olarak adlandırılmaktadır [3]. Parazit ile enfekte olmuş kişilerde dolaşım bozukluğu, koma, çoklu organ yetmezliği gibi rahatsızlıklara ve hatta ölüme neden olabilir [4-6]. Sıtmanın erken ve etkin teşhisi onu

*¹e-posta: cetiner51@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1635-6461>

hem önlenabilir hem de tedavi edilebilir kılmaktadır [5]. Sıtma hastalığına karşı tedavi edici ilaçlar var olsa da hastalığın tedavi yöntemi yetersiz kalmaktadır [7]. Bu hastalığa karşı etkili bir aşı bulunması için araştırmalar yapılmaktadır [7–9]. Sıtma bulaşıcı bir hastalık olduğu için erken teşhis edilmesi ve önlenmesi hayati önem taşımaktadır.

Sıtmanın doğru ve başarılı tespiti deneyimli mikrobiyoloji uzmanları tarafından yapılabilmektedir. Bu yüzden parazitin tesbitinde standart bir yöntem ortaya konulamamıştır. Bunun yanı sıra ülkelerin gelişmişlik seviyelerine göre yeterli mikrobiyoloji uzmanı olmaması ve bunların kullanacağı araç gereçlerin yetersizliği gibi nedenlerle sıtma ile mücadelede önemli eksiklikler bulunmaktadır. Son yıllarda kan hücrelerinin mikroskopik görüntülerinden insan yorumuna dayalı sıtma enfeksiyonunu tespit etmede insanların yorgunluk, dikkat eksikliği ve bilgi eksikliği gibi sebeplerden kaynaklanan hatalardan dolayı yanlış sonuçlarda büyük artış görülmektedir. Bu problemlerin üstesinden gelmek için literatürde makine öğretimi yöntemleri ile yapılan çalışmalar görülmektedir [5]. Ancak, derin öğrenme modellerini temel alarak çalışan akıllı aygıtlar ile yapılan sıtma parazit tespit sistemleri daha standartlaşmış olmasından dolayı önemlidir. Bu sistemler mikroskopik tanıya göre daha objektif ve güvenilir hızlı sistemlerdir. Bu sistemler ile tanı daha kısa zamanda tespit edilmesinin yanında maliyet bakımından da daha ekonomiktir.

Dünyada tıbbi görüntü işlemede bilgisayar görü yöntemleri etkili ve başarılı çalışmalar sergilemişlerdir [10–12]. Daha kapsamlı, daha derin ve daha karmaşık CNN'lerin yükselişi, makine öğrenme ve bilgisayar görü alanında bir trend haline geldi. AlexNet, VGG, GoogleNet ve ResNet gibi modeller, temel CNN'den bu güne kadar önemli gelişmeler kaydetti [13–14]. Önerilen CNN yöntemleri hem öznetelik çıkarmak için kullanılabilmesi gibi hem de sigmoid ve softmax aktivasyon fonksiyonları ile sınıflandırma yapmak için de kullanılabilir. Bunlara ek olarak istenirse, CNN yönteminden elde edilen öznetelikler klasik makine öğrenme sınıflandırma algoritmaları olan Support Vector Machines (SVM), Decision Tree (DT), K-Nearest Neighbour (KNN) ve Naïve Bayes (NB) ile de sınıflandırılabilir [14–16].

Bu makale kapsamında bilgisayar görü ve CNN yöntemleri bir arada kullanılarak sıtma hastalığını sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Önerilen derin öğrenme yöntemlerinde enfekte kırmızı kan hücreleri sıtma hastalığını doğru bir şekilde sınıflandırabilmek için girdi olarak kullanılmıştır. Girdi olarak kullanılan görüntülerde parazitlenmiş bir hücre bir yabancı cisim (parazit) içermekte iken enfekte olmamış hücreler çoğunlukla yuvarlak, tek renkli, lekesiz hücrelerdir [17]. Sıtma paraziti tespiti için 23 ağırlıklı katmandan oluşan bir CNN ve önceden eğitilmiş ResNet50V2 mimarisini temel alan bir model önerilmiştir. Önerilen modelleri sıtma hastalığını sınıflandırması için eğitebilmek amacıyla 13.779 adet kırmızı kan hücresinde çalışılmıştır. Önerilen modellerin test doğruluğunu da belirleyebilmek için eğitimde kullanılmayan 13.779 kırmızı kan görüntüsü kullanılmıştır. Toplam 27.558 kırmızı kan hücresinden oluşan bir veri seti kullanılarak geliştirilen derin öğrenme modellerinin performansları literatürde yaygın olarak kullanılan doğruluk, F1-Puanı, geri çağırma ve keskinlik performans değerlendirme ölçütleri ile belirlenmiştir.

Öne sürülen yöntemlerdeki katmanlar doğru ve güvenilir bir sonuç için önemlidir. Konvolüsyon (Convolution) katmanı çekirdek filtrelerden oluşmaktadır. Bu katmanda tanımlı olan filtreler görüntü boyunca hareket ettirilerek sıtma görüntülerine ait ayırt edici öznetelikler çıkartılmıştır. Eğitim ve test aşamasının tamamında aynı boyutta kırmızı, yeşil ve mavi renk kanallarına sahip olan görüntüler kullanılmıştır. Konvolüsyon katmanında tüm görüntülerin boyutları 64x64 olacak şekilde belirlenerek işlem hızı açısından ReLU aktivasyon fonksiyonları genel olarak tercih edilmiştir. ReLU, doğrusal transfer fonksiyonu olarak kullanılmaktadır. ReLU, negatif değerler için sıfır çıktı verirken pozitif girdileri doğrudan çıktıya aktarmaktadır. Genel olarak konvolüsyon katmanından sonra havuzlama katmanı (Pooling) gelmektedir. Havuzlama katmanının 3 farklı türü bulunmaktadır. Bunlar maksimum havuzlama (MaxPooling), ortalama havuzlama (AvgPooling) ve minimum havuzlama (MinPooling) katmanlarıdır. Konvolüsyon matrisinden çıkartılan öznetelik matrisindeki filtreler içerisinde en küçük, en büyük ya da ortalama değerleri olarak öznetelik matrisi boyutu azaltılmaktadır. Bu makale kapsamında maksimum ve ortalama havuzlama katmanları performansı iyileştirmesinden dolayı tercih edilmiştir. Havuzlama işlemlerinde öznetelik matrisinde gezinecek pencerenin boyutu pool_size olarak

tanımlanmaktadır. Genel olarak havuzlama katmanı sonrasında kullanılan toplu normalleştirme katmanı (BatchNormalization) önceki katmanlardan gelen değerleri normalleştirmektedir. Bu sayede sıtma görüntülerinin eğitim ve test grafiklerinde aşırı dalgalanmanın önüne geçilebilmektedir. Havuzlama katmanı sonrasında sıklıkla kullanılan unutmaya katmanı (Dropout) ile modelde ezberlemeyi önlemek için belirli bir değer kadar bağlantıları bırakması sağlanmaktadır. Düzleştirme (Flatten) adı verilen düzleştirme katmanında ise önceki katmandan gelen girdi olarak kullanılan öznetelik haritasını tek boyutlu bir diziyeye dönüştürmektedir. Düzleştirme katmanı sonrasında, girdi olarak verilen unutmaya katmanından gelen $8 \times 8 \times 32$ 'lik matris 2048 boyutuna dönüştürülmektedir. Tam bağlantı katmanı (Fully connected) ile önceki tüm katmanlarla bağlantı sağlanmaktadır. Genel olarak tam bağlantı katmanı ReLU ile kullanılabilirdiği gibi sınıflandırma aşamasında sigmoid aktivasyon fonksiyonu ile hedef sınıf olasılıklarının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Sigmoid aktivasyon fonksiyonu ile kullanılan sınıflandırma katmanında sınıf sayısına göre çıkış sayısının belirlenmesi gerekmektedir. Bu aktivasyon fonksiyonu ile oluşturulan sınıflandırma katmanı ile Parazitli ve Parazitsiz olarak tanımlanan iki sınıfın belirlenmesi amaçlanmıştır. Genel olarak önerilen model bu temel şekilde çalışmaktadır.

Yukarıda ayrıntılı açıklamaları yapılan katmanlar sıfırdan ve ResNet50V2 gibi önceden eğitilmiş ağ yardımıyla iki farklı model önerilmiştir. Bu önerilen modeller ile sıtma hastalığının tanınması ve sınıflandırılması için geliştirilen bir karar destek sistemi tasarlanmıştır. Bu tasarlanan karar destek sistemide 23 ağırlıklı katmandan oluşan bir CNN ve önceden eğitilmiş ResNet50V2 mimarisini temel alan modeller ile Adamax optimizasyon yönteminde başarı oranları karşılaştırılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde her iki önerilen modelde de Adamax optimizasyon yöntemi ile sonuçlar edilmiştir. Bu anlamda elde edilen sonuçlar literatürde performans sonuçlarını veren kriterler ile birlikte karmaşıklık matrisleri ve F1 puan değerleri verilerek ilerleyen bölümlerde detaylı analizi sunulmuştur.

Sıtma hastalığını sınıflandırma için yapılan çalışmada literatüre sağlanan ana katkılar aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

- Sıtma hastalığı tanımlanması için iki farklı yaklaşımla bir model geliştirilmiştir. Geliştirilen modelde kullanılan eğitim ve test verileri K-Fold 5 değerine göre ayrılmıştır. Bu nedenle çalışmada K-Fold 5 değerine göre elde edilen performans değerleri sunulmuştur.
- Sıtma hastalığına sahip test görüntülerini sınıflandırabilecek yeni bir CNN modeli tasarlanmıştır.
- Kaynakların kısıtlı olduğu bölgelerdeki mikrobiyoloji uzmanlarının yükünü azaltmak için sıtma hastalığı sınıflandırma işlemini gerçekleştiren bir karar destek sistemi önerilmiştir.
- Sağlık sektöründe CNN tabanlı sınıflandırma işlemlerinin yaygınlaşması ile daha fazla sıtma hastası, daha kısa sürede tedaviye alınabilecektir.

Makalenin bundan sonraki bölümleri aşağıdaki şekilde gruplandırılmıştır. 2. Bölüm Materyal ve Metod'a bu çalışmada kullanılan veri seti detaylı anlatımı yapılmıştır ve işleme yöntemlerinden bahsedilmiştir. 3. Bölümde öne sürülen yöntemlerden olan Temel ResNet50V2 ve CNN mimarili model bahsedilerek bu modellerden elde edilen performans sonuçları karşılaştırılmıştır. 4. Bölümde sonuçlar grafiksel olarak verilerek benzer çalışmalarla karşılaştırılmıştır. 5. Bölümde ise makale sonuçlandırılmıştır.

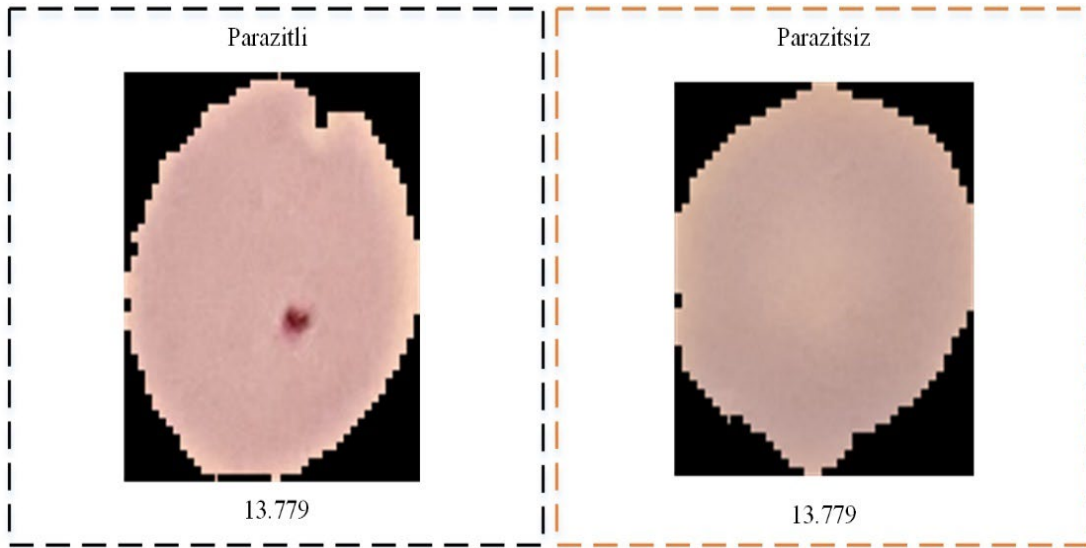
2. Materyal ve Metod

2.1. Materyal

Bu çalışmada önerilen mimari modeller sıtma hastalığına ait halka açık kırmızı kan hücresi görüntüleri içeren bir veri seti üzerinde gerçekleştirilmiştir [18]. Bu veri seti, Malaria Screener araştırma faaliyetinden alınan ince kan hücresi görüntülerinden bölümlere ayrılmış hücrelerin bir deposunu barındırır. Ulusal Tıp Kütüphanesi'nin (NLM) bir parçası olan Lister Hill Ulusal Biyomedikal İletişim

Merkezi'ndeki (LHNCBC) araştırmacılar, kaynakların kısıtlı olduğu bölgelerdeki mikrobiyoloji uzmanlarının yükünü azaltmak ve teşhis doğruluğunu artırmak için bir mobil uygulama geliştirdiler. Geleneksel bir ışık mikroskobuna bağlı Android akıllı telefon. 150 Plasmodium falciparum ile enfekte olmuş ve 50 sağlıklı hastadan Giemsa lekeli ince kan hücresi görüntüsü toplandı ve Bangladeş Chittagong Tıp Koleği Hastanesinde işlendi. Akıllı telefonun dahili kamerası, her bir mikroskobik görüş alanı için ince kan hücresi görüntüleri aldı. Görüntüler, Bangkok, Tayland'daki Mahidol-Oxford Tropikal Tıp Araştırma Birimi'ndeki uzman bir görüntü okuyucu tarafından manuel olarak not edildi. Kimliği kaldırılan görüntüler ve ağıklamalar NLM'de (IRB#12972) arşivlenir.

Veri seti, parazitle enfekte ve enfekte olmamış hücrelerin eşit örneklerine sahip toplam 27.558 hücre görüntüsü içerir. Görüntülerin 13.779 tanesi enfekte ve 13.779 tanesi ise enfekte değildir.

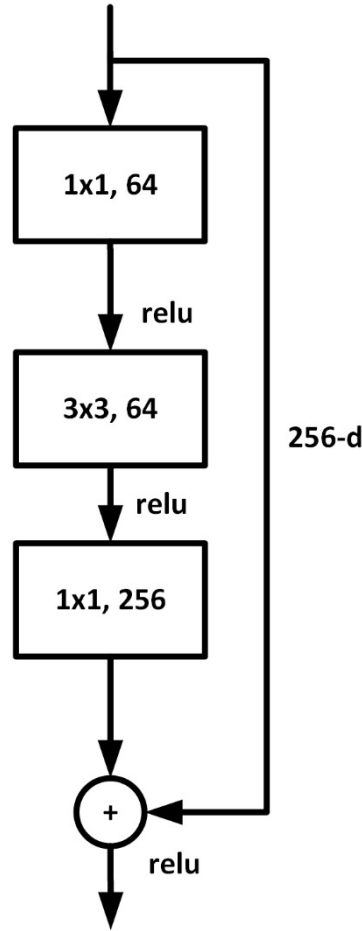


Şekil 1. Veri setinde bulunan sıtma hastalığı görüntü dağılımı.

Şekil 1'de kullanılan veri setinin parazitli kırmızı kan hücresi adeti ve parazitsiz kırmızı kan hücre adeti sayısal dağılımları gösterilmiştir. Bu sayılar toplam eğitim ve test sayılarını göstermektedir. Eğitim sırasında Şekil 5'de gösterildiği gibi tüm görüntüler ön işleme adımlarından geçmektedir. Tüm görüntüler eğitim modelleme işleminden önce ön işlemlerden geçirildi. Görüntülerin 64x64 boyutu oluşturulmuştur. Görüntü yoğunluğunu ve aydınlatma farklılıklarını belirgin hale getirilmesi için HSV renk uzayına geçilmiştir. Otsu yöntemi için görüntüler gri tonlamaya dönüştürülmüştür. Görüntülerin ikili halleri Otsu yöntemi sonrasında kırmızı kan hücresi bölgeleri tespit edilmiştir. İlgili alanlar belirlendikten sonra Parazitli ve Parazitsiz olarak her bir görüntü etiketlenmiştir. Bu görüntülerde ön işlemlerden sonra veri dengesizliklerini giderebilmek için veri büyütme işlemleri, veri döndürme ve veri yakınlaştırma işlemleri gerçekleştirilmiştir.

2.2. ResNet50V2

ResNet mimarisi yaygın olarak kullanılan derin öğrenme mimarilerden birisidir. Bu mimarinin katman ve blok yapısına göre ResNet 50/101/152 olmak üzere farklı yapıları da bulunmaktadır[19].



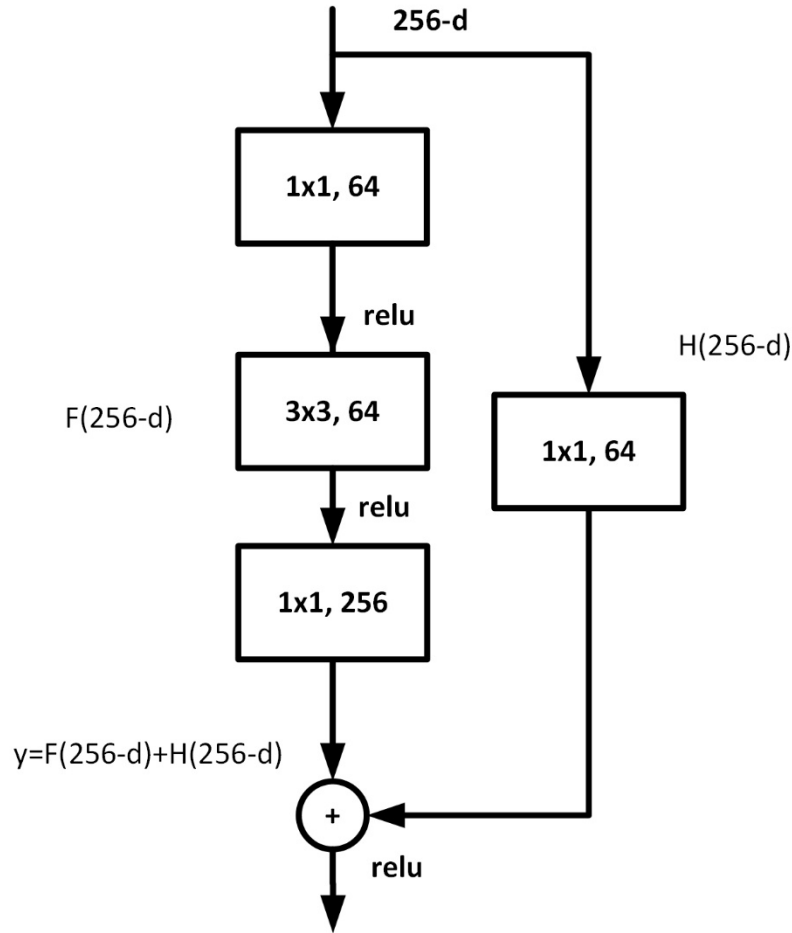
Şekil 2. Kısa yol bağlantılı darboğaz yapı bloğu

Mimari içerisinde kullanılan yapılardan birisi de darboğaz yapı bloğudur. Darboğaz yapı bloğunda katmanları atlayan kısa yol bağlantıları ($256 - d$) bulunmaktadır [19]. Darboğaz yapı bloğunda kısa yol bağlantıları blok olarak konvolüsyonel katmanların atlama temelini dayanmaktadır. Darboğaz yapı bloğu konvolüsyon, aktivasyon katmanlarına ek olarak bir kısa yoldan oluşur. Darboğaz yapı bloğu genel olarak Şekil 2'de gösterilmiştir. Şekil 2'deki yapı bloğu Denklem (1)'de sunulmuştur.

$$y = F(256 - d) + (256 - d) \quad (1)$$

Derin sinir ağları katman sayısına göre ifade edilmektedir. Katman sayısı arttıkça derinlik artmaktadır. Daha derin sinir ağlarının eğitilmesi daha zordur. Daha derin olan ağların eğitimini kolaylaştırmak için ResNets mimarisi ile artık bir öğrenme çerçevesi sunulmuştur. Katmanları, referanssız fonksiyonları öğrenmek yerine, katman girdilerine referansla öğrenen artık fonksiyonlar yerleştirilerek yeniden formüle edilmiştir. Bu artık ağların optimize edilmesinin daha kolay olduğunu ve önemli ölçüde artırılmış derinliklerin kazanılabileceğini gösteren kapsamlı bir ampirik(deneysel) kanıtlar sunmuşlardır[19]. ImageNet veri kümesinde, önceden eğitilmiş konvolüsyon sinir ağlarından özellikle VGG ağlarından 8 kat daha derin, ancak daha düşük karmaşıklığa sahip 152 katmana kadar derinliğe sahip artık ağları kullanabilir.

Derin artık ağlar (ResNets) bir çok yığılmış “Artık Birim”den oluşur.



Şekil 3. Darboğaz yapı bloğu.

Şekil 3'deki akış diyagramında 256-d değeri x_l değeridir. Her birim aşağıdaki Denklem (2) ile genel biçimde ifade edilebilir:

$$\begin{aligned} y_l &= h(x_l) + F(x_l, W_l), \\ x_{l+1} &= f(y_l), \end{aligned} \quad (2)$$

burada x_l ve x_{l+1} , l 'inci birimin girdisi ve çıktısıdır ve F bir artık fonksiyondur. $h(x_l) = x_l$ bir kimlik eşleşmesi ve f bir ReLU fonksiyonudur.

ResNets'in ana fikri, $h(x_l) = x_l$ kimlik eşleşmesi kullanılarak, $h(x_l)$ ile ilgili olarak toplam artık fonksiyonu F'yi öğrenmektir. Burada bir kısa yol atlama bağlantısı eklenerek gerçekleştirilir [19].

Önceden eğitilmiş mimari olarak ResNet50, 50 katmanlı artık bir ağıdır. Bu ağ artıkları öğrenmeyi amaçlar. Katmanın girdisinden öğrenilen özelliklerin çıkarılmasına "artık" olarak ifade edilir [5]. Çeşitli derinliklerdeki ResNet verimliliği ve doğruluğu artırmak için darboğaz özelliklerini kullanılabilir [17].

2.3. Hiperparametre Ayarı

Bu çalışmada kullanılan 2 modelin öğrenilmesini etkileyen parametreler kümesi hiperparametre olarak adlandırılır. Hiperparametrede görüntü boyutu, epoch sayısı, batch sayısı, optimizasyon yöntemi, öğrenme oranı ve düzeyici parametreleridir. Eğitim ve test işlemlerinin görüntü boyutu 64x64 ve 3 kanallıdır. Modeller eğitilirken adım sayısı 50, öğrenme oranı $1e-4$, bölüm sayısı 32 olarak ayarlanmıştır. Optimizasyonda Adamax yöntemi kullanılmıştır. Gecikme durakları öğrenme oranı adım

sayısına bölünerek belirlenmiştir. Burada kullanılan parametreler ile ulaşılan sonuçlar 3. Bölümde verilmiştir.

2.4. Performans Değerlendirme Ölçümleri

Sınıflandırma görevi gerçekleştirildikten sonra başarısının değerlendirilmesi gerekir. Sınıflandırma görevinin performansı değişik ölçütler ile ölçeklendirilebilir. Bu çalışmada deneysel çalışmalar, Tensorflow-GPU kullanılarak Keras kütüphaneleri ile birlikte cuda_11.5.r1 1.5 versiyonunda gerçekleştirilmiştir. Önerilen yöntem karmaşıklık matrisinden türetilen doğruluk (Accuracy), kesinlik (Precision), F-puanı (F-Score), geri çağırma (Recall) performans değerlendirme metrikleri kullanılarak değerlendirilmiştir.

$$\text{Doğruluk} = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (3)$$

Denklem 2 ve sonrasında TP doğru sınıflandırılabilen kırmızı kan hücresi örnek sayısını tanımlarken, FP yanlış sınıflandırma yapılan kırmızı kan hücresi örnek sayısını tanımlamaktadır. TN ise diğer sınıftan doğru sınıflandırılan kırmızı kan hücresi örnek sayısını tanımlamaktadır. FN ise gözlem altındaki diğer sınıftan yanlış sınıflandırılan kırmızı kan hücresi örnek sayısını temsil etmektedir. Denklem 3'te pozitif olarak sınıflandırılıp doğru tahmin edilen kırmızı kan hücresi sınıfının toplam pozitif kırmızı kan hücresi sayısına oranına geri çağırma denilmektedir. Geri çağırma formülü modelin bulunduğu doğru sınıfları tespit etmektedir. Geri çağırmanın yüksek olması doğru sınıflandırılan kırmızı kan hücresi sayısının bir o kadar fazla olduğunu göstermektedir. Geri çağırma denkleminde yanlış bulunan kırmızı kan hücresi sınıfı ile ilgilenilmemektedir. Ancak modeldeki tüm pozitif kırmızı kan hücresi doğru sınıflandırıp sınıflandırmadığının anlaşılabilmesi için geri çağırma sonuçlarının elde edilmesi gerekmektedir.

$$\text{Geri Çağırma} = \frac{TP}{TP + FN} \quad (4)$$

Kesinlik ise TP ve pozitif olarak tahmin edilen toplam kırmızı kan hücresi sayısının oranı olarak tanımlanmaktadır. Negatif kırmızı kan hücresi bazıları pozitif olarak sınıflandırma durumunda bunun tespit edilebilmesi için kesinlik denkleminde sonuç elde edilmesi gerekmektedir. Denklem 4'te kesinlik formülü verilmiştir.

$$\text{Kesinlik} = \frac{TP}{TP + FP} \quad (5)$$

F1 puanı ise kesinlik ve geri çağırma denklemlerinden elde edilen sonuçlarının ağırlıklı harmonik ortalamasıdır. Kesinlik ve geri çağırma arasındaki dengeyi ölçebilmek için Denklem 5'da sunulan denklem kullanılmaktadır. F1 puanı bir değerine yakınsa az sayıda düşük hatalı pozitif ve negatif sayısına sahip bir model oluşturduğunu anlamına gelmektedir.

$$F1 = 2x \frac{\text{Kesinlik} \times \text{Geri çağırma}}{\text{Kesinlik} + \text{Geri çağırma}} \quad (6)$$

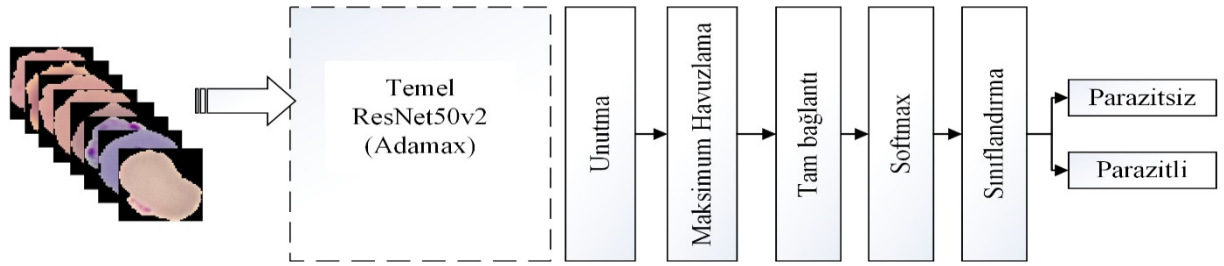
Belirtilen performans ölçüm değerlerinin tamamı bu çalışmada önerilen yöntemlerin performanslarını doğru değerlendirebilmek için kullanılmıştır. Kullanılan performans ölçümlerinin yanında doğruluk ve kayıp sonuçları grafiksel anlamda ikili çizimler ile verilmiştir. Bunlara ek olarak modellerden elde edilen karmaşıklık matrisi her bir model başlığı altında sunulmuştur. Önerilen Temel ResNet50V2 ve CNN yöntemleri ile 2 farklı model ile farklı eğitim ve test işlemleri gerçekleştirilmiştir. Denklem 3-6 arasındaki denklemlere göre her bir modelden elde edilen sonuçlar verilmiştir.

3. Önerilen Yöntemler

Bu bölüm içerisinde önerilen modellerle ulaşılan sonuçlar sunulmuştur. Bu bölümün sonunda kullanılan ve önerilen modellerin kendi içlerinde yapılan kıyaslama sonuçları verilmiştir. Bunlara ek olarak güncel literatürde Malaria Cells veri setini kullanan benzer olmayan çalışmalar ile sonuçların karşılaştırılması verilmektedir.

3.1. Temel ResNet50V2 Modeli ile Performans Sonuçları

Sıtma hastalığını tam zamanında doğru ve hızlı tanımlayabilmek için önceden eğitilmiş ResNet50V2 mimarisini temel alan 5 ağırlık katmanlı modeli Şekil 4’de gösterilmiştir. Geliştirilen model Adamax optimizasyon algoritması ile test edilmiştir. Önerilen Temel ResNet50V2 modeli, 1 adet Unutma, 1 adet Maksimum Havuzlama, 1 adet Tam bağlantı ve Sınıflandırma katmanında Softmax aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır. Oluşturulan sınıflandırıcı model ile Parazitli ve Parazitsiz olarak 2 kategoride sınıflandırılmıştır.



Şekil 4. Önerilen Temel ResNet50V2’li model

Tahmin	Gerçek		sütunToplam
	Parazitli	Parazitsiz	
Parazitli	3195 38.64%	728 8.81%	3923 81.44%
Parazitsiz	899 10.87%	3446 41.68%	4345 79.31%
sütunToplam	4094 78.04%	4174 82.56%	8268 80.32%
	21.96%	17.44%	19.68%

Şekil 5. Önerilen ResNet50V2 yönteminin karmaşıklık matrisi

Şekil 4’de verilen modelin doğruluk ve kayıp karmaşıklık matrisi oluşturulmuştur. Oluşturulan bu matrisler Şekil 5’de gösterilmektedir. Diğer modellerin aksine önerilen Temel ResNet50V2’li CNN

modelinde Çizelge 2’de verilen K-Fold5 değerlerinden en iyi doğruluk değerine ulaşılan Kfold1 performans sonuçları seçilmiştir.

Bu karmaşıklık matrisindeki performans sonuçları daha ayrıntılı olarak Çizelge 1’de taplo halinde verilmiştir. Çizelge 1’deki sonuçlarda sadece doğruluk oranı değil, önerilen ResNet50V2 modelinin performansını değerlendirebilmek için kesinlik, geri çağırma, F1 puanı ve doğruluk ölçüm sonuçları içermektedir.

Çizelge 1. Önerilen ResNet50V2 modeli ile transfer öğrenme performans sonuçları

Optimizasyon Yöntemi	Sınıf	Kesinlik	Geri Çağırma	F1 Puanı	Doğruluk
Adamax	Parazitli	0.81	0.78	0.80	0.80
Adamax	Parazitsiz	0.79	0.83	0.81	

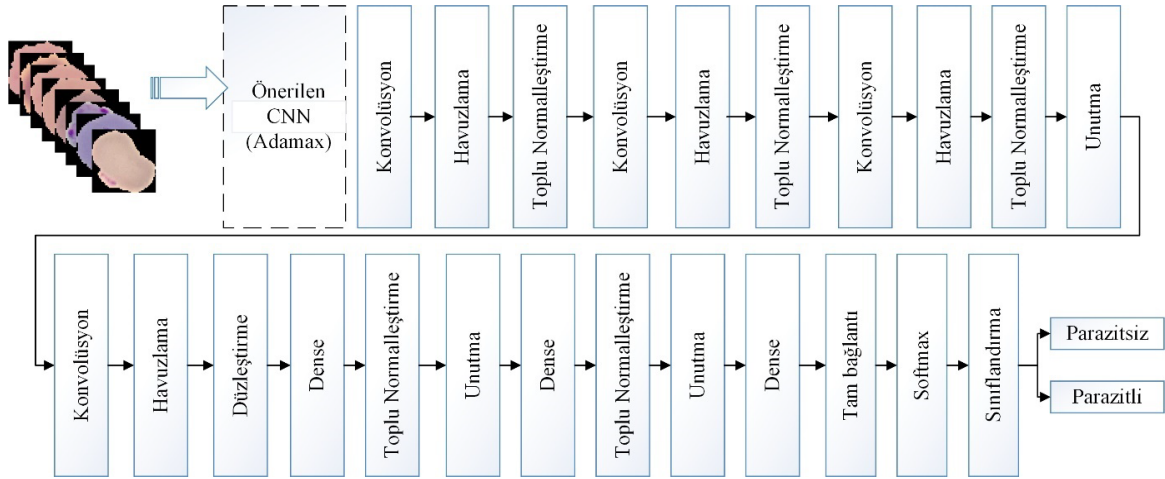
Temel RestNetV2 ile Adamax optimizasyon yönteminde elde edilen K-Fold5 ile elde edilen performans sonuçları Çizelge 2’de verilmiştir. Bu K-Fold5 değerlerinden Kfold1 değerlerinin diğerlerine göre daha yüksek olduğu görülmüştür.

Çizelge 2. Temel RestNet50V2 kfold değerlerine göre performans sonuçları

Optimizasyon Yöntemi	Kfold	Doğruluk	Kayıp
Adamax	1	79.28	0.72
Adamax	2	66.72	1.50
Adamax	3	57.94	2.49
Adamax	4	62.00	2.11
Adamax	5	64.41	1.72
	Ortalama	66.07	1.70

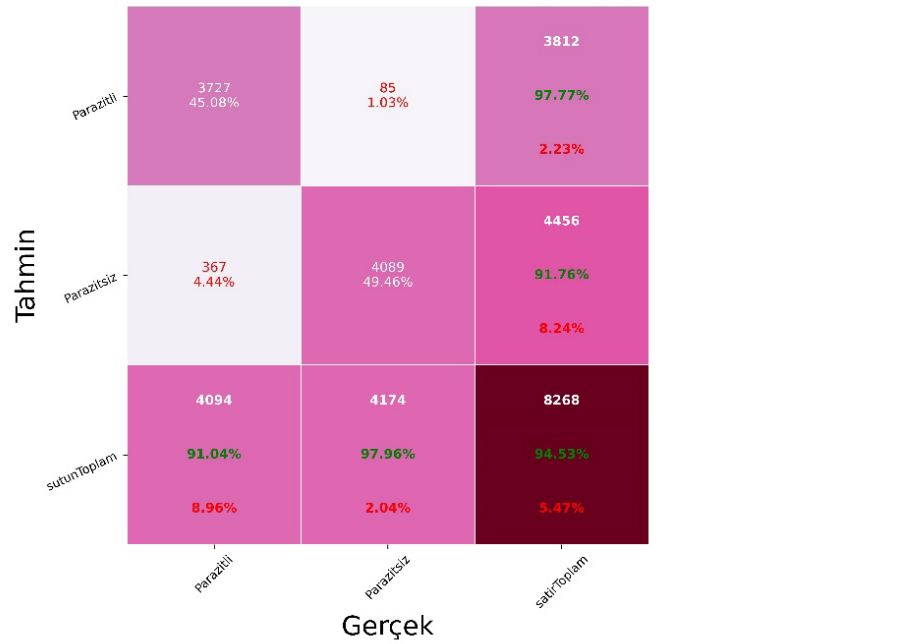
3.1. Önerilen CNN Modeli ve Performans Sonuçları

Şekil 7’de önerilen CNN modeli verilmiştir. Önerilen modelde 32 adet 3x3 filtreden oluşan ReLU aktivasyon fonksiyonuna sahip padding değeri aynı olan dört adet Konvolüsyon katmanı kullanılmıştır. Her Konvolüsyon katmanı sonrası 1x1 boyutunda 1 adet Havuzlama ve Toplu Normalleştirme katmanı kullanılmıştır. Bu şekilde 4 adet Evrişim-Havuzlama-TopluNormalleştirme bloğu kullanılmıştır. 3 adet Unutma katmanı kullanılarak ezberlemenin önüne geçilmeye çalışılmıştır. Bir adet Düzleştirme, 3 adet ReLU aktivasyon fonksiyonlu Dense katmanı, Düzleştirme katmanından sonra 2 adet toplu normalleştirme, 2 adet Unutma, 1 adet Tam bağlantı, 1 adet softmax aktivasyon fonksiyonlu sınıflandırma katmanı kullanılmıştır.



Şekil 6. Önerilen CNN Modeli

Şekil 6'de önerilen modelin doğruluk ve kayıp karmaşıklık matrisi Şekil 7'de verilmiştir. Bu önerilen CNN modelinde Çizelge 4'de verilen K-Fold5 değerlerinden en iyi doğruluk değerine ulaşılan Kfold1 performans sonuçları seçilmiştir.



Şekil 7. Önerilen CNN yönteminin karmaşıklık matrisi

Şekil 9'daki karmaşıklık matrisin Kesinlik, Geri Çağırma, F1-Puanı ve Doğruluk değerleri Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 3. Önerilen CNN modelinin performans sonuçları

Optimizasyon Yöntemi	Sınıf	Kesinlik	Geri Çağırma	F1-Puanı	Doğruluk
Adamax	Parazitli	0.98	0.91	0.94	0.95
Adamax	Parazitsiz	0.92	0.98	0.95	

Öne sürülen CNN modelin Adamax optimizasyon yönteminde elde edilen K-Fold5 performans sonuçları Çizelge 4’de verilmiştir. Bu K-Fold5 değerlerinden Kfold1 değerlerinin diğerlerine göre daha yüksek olduğu görülmüştür.

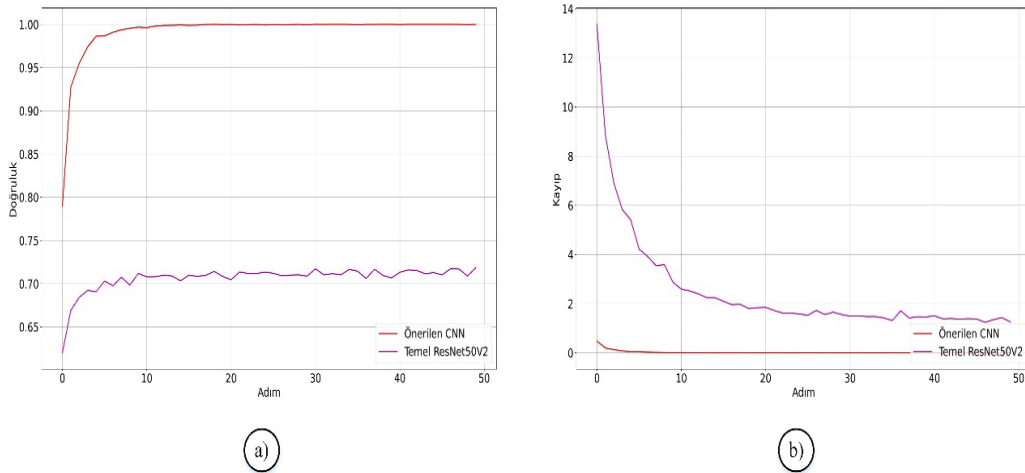
Çizelge 4. Önerilen CNN modelinin kfold değerlerine göre performans sonuçları

Optimizasyon Yöntemi	Kfold	Doğruluk	Kayıp
Adamax	1	97.53	0.35
Adamax	2	97.15	0.80
Adamax	3	97.24	0.99
Adamax	4	97.40	0.26
Adamax	5	96.98	0.36
	Ortalama	97.26	0.55

4. Tartışma

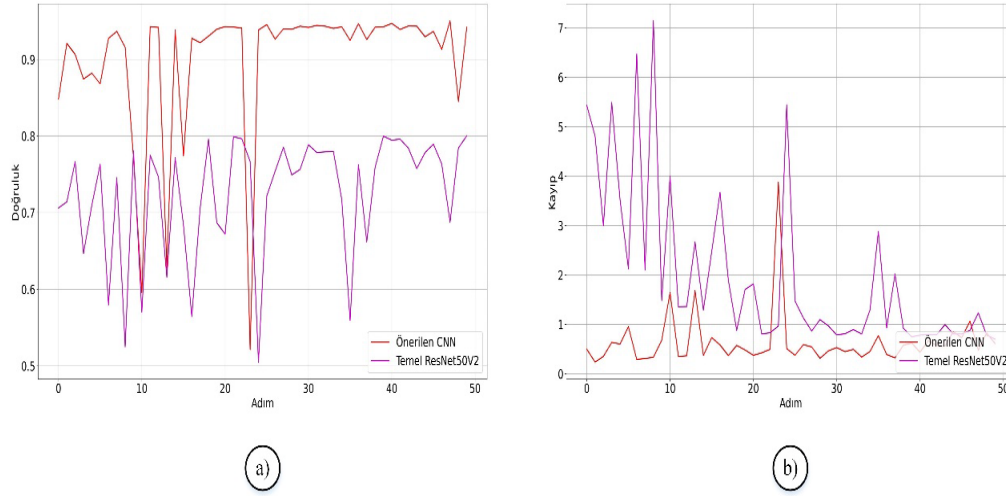
Parazitli ve Parazitsiz hücrelerin eşit örneklerine sahip 27.558 kırmızı kan hücre görüntüsü Adamax optimizasyon yöntemi ile test edilmiştir. Bu görüntülerde önerilen Temel ResNet50V2 mimarili modelde Parazitli hücrelerde 728 ve Parazitsiz hücrelerde 899 hata oluşmuştur. Önerilen CNN modelinde ise Parazitli hücrelerde 85 ve Parazitsiz hücrelerde 367 hata oluşmuştur.

Önerilen CNN ve Temel ResNet50V2’li CNN modelleri kullanılan optimizasyon yöntemlerinden olan Adamax optimizasyon yönteminde elde edilen eğitim performans sonuçları Şekil 8’de verilmiştir. Şekil 8 incelendiğinde her iki model sonuçlarının birbirinden farklı olduğu belirlenmiştir.



Şekil 8. Önerilen CNN model ve Temel ResNet50V2’li CNN model a)Eğitim Doğruluk grafikleri, b)Eğitim Kayıp grafikleri

Önerilen CNN ve Temel ResNet50V2’li CNN modelleri kullanılan optimizasyon yöntemlerinden olan Adamax optimizasyon yönteminde elde edilen test performans sonuçları Şekil 9’de verilmiştir. Test sonuçları incelendiğinde her iki model sonuçlarının birbirinden farklı olduğu görülmektedir.



Şekil 9. Önerilen CNN model ve Temel ResNet50V2’li CNN model a) Test Doğruluk grafikleri, b) Test Kayıp grafikleri

Şekil 4 ve Şekil 6’da tasarlanmış modellerin Şekil 8 ve Şekil 9’da eğitim, test işlemlerine göre elde edilen sonuçların doğruluk ve kayıp grafikleri verilmiştir. Bunların yanında eğitimde kullanılmayan test verilerinin performans sonuçlarını daha detaylı bir şekilde inceleyebilmek için karmaşıklık matrisleri oluşturulmuştur.

İki farklı model aynı parametreler kullanılarak Malaria Cells adlı halka açık bir veri setinde değerlendirildiğinde önerilen 23 ağırlık katmanlı CNN modelin Temel ResNet50V2 mimarili modelden daha iyi bir sonuç verdiği gözlenmiştir.

Önerilen CNN modelin toplam parametre sayısı 268,673,890 olarak belirlenmiştir. Belirlenen bu parametre sayılarının 268,672,098 adeti eğitilebilir iken, 1,792 parametre adeti ise ağırlık değerleri güncellenmeyen parametredir. Parazitli sınıfta önerilen CNN model Parazitsiz hücrelere göre daha iyi sonuç vermiştir. K-fold5 değeri kullanılarak uygulamalarda aynı sonuç alınmıştır. Böylece önerilen modellerin değişmeyen kararlı bir sonuç vermesi sağlanmıştır.

Önerilen CNN modelle elde edilen test sonuçları benzer veri setleri kullanan çalışmalar ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonuçları Çizelge 5’te verilmiştir. Verilen uygulama sonuçları incelendiğinde diğer benzer çalışmalar kadar başarılı bir model önerildiği görülmektedir.

Çizelge 5. Benzer çalışma sonuçları ile karşılaştırılması.

Sınıf	Model /Yöntem	Kesinlik (%)	Geri Çağırma (%)	F1 puanı (%)	Doğruluk (%)
Parazitli	Abubakar vd. [3] / SVM	0.94	0.95	0.94	0.94
	Irmak [7] /CNN	0.95	0.95	0.95	0.95
	Montalbo vd. [13] /EfficientNetB0	0.94	0.95	0.94	0.94
	Rameen vd.[20] /SVM	0.85	0.78	0.81	0.95
	Maqsood vd. [9] / ResNet50	0.95	0.92	0.96	0.95
	Temel ResNet50V2	0.81	0.78	0.80	0.80
	Önerilen CNN	0.98	0.91	0.94	0.95
Parazitsiz	Abubakar vd. [3] /SVM	0.94	0.95	0.94	0.94
	Irmak E. [7] /CNN	0.95	0.95	0.95	0.95
	Montalbo vd. [13] /EfficientNetB0	0.94	0.95	0.94	0.94
	Rameen et al.[20] SVM	0.85	0.78	0.81	0.95
	Maqsood vd. [9] /ResNet50	0.95	0.92	0.96	0.95

	Temel ResNet50V2	0.79	0.83	0.81	0.80
	Önerilen CNN	0.92	0.98	0.95	0.95

Çizelge 6. Devamı

5. Sonuçlar

Sıtma hastalığının başarılı bir şekilde sınıflandırılması bu hastalığın tedavisinde önemli aşamalardan biri olabilir. Bu çalışmada, 27.558 kırmızı kan hücresinden sıtma parazitlerini etkin bir şekilde sınıflandırılması için en gelişmiş algoritmaları kullanan kapsamlı bir araştırma sunduk. Bu görüntülerden yararlı belirleyici öznelikleri çıkarmak için önceden eğitilmiş mevcut mimarileri test ederek kendi CNN modelimizi oluşturduk. Öne sürülen CNN model ile belirli bir kan numunesinin parazitli olup olmadığını bilmek için her bir numune ön işlemlerden geçirilerek sınıflandırılması gerçekleştirildi. Kırmızı kan hücresi görüntülerinden sıtma hastalığının doğru bir şekilde sınıflandırılması için yeni bir konvolüsyon sinir ağı modeli sunuldu. Sıtma hastalığı sınıflandırılması için kamuya açık kırmızı kan hücreli büyük bir veri seti kullanılarak yeni bir CNN modeli önerildi. Önerilen CNN modeli ile sıtma hastalığının sınıflandırılması sonucunda %97.53 gibi yüksek bir doğrulukla sağlandı. Bu çalışma ile sıtma hastalığı daha kısa sürede sınıflandırılması yapılarak doktorların hastayı daha kısa sürede tedaviye alabilecektir.

Kaynaklar

- [1] Rajaraman S., Jaeger S., Antani SK. Performance evaluation of deep neural ensembles toward malaria parasite detection in thin-blood smear images. *PeerJ* 2019; 7: e6977.
- [2] Vijayalakshmi A., Rajesh Kanna B. Deep learning approach to detect malaria from microscopic images. *Multimed Tools Appl* 2020; 79(21–22): 15297–317. Doi: 10.1007/s11042-019-7162-y.
- [3] Abubakar A., Ajuji M., Yahya IU. DeepFMD: Computational Analysis for Malaria Detection in Blood-Smear Images Using Deep-Learning Features. *Appl Syst Innov* 2021; 4(4): 82. Doi: 10.3390/asi4040082.
- [4] Tangpukdee N., Duangdee C., Wilairatana P., Krudsood S. Malaria Diagnosis: A Brief Review. *Korean J Parasitol* 2009; 47(2): 93. Doi: 10.3347/kjp.2009.47.2.93.
- [5] Singla N., Srivastava V. Deep learning enabled multi-wavelength spatial coherence microscope for the classification of malaria-infected stages with limited labelled data size. *Opt Laser Technol* 2020; 130(September 2019): 106335. Doi: 10.1016/j.optlastec.2020.106335.
- [6] Rajaraman S., Antani SK., Poostchi M., Silamut K., Hossain MA., Maude RJ., Jaeger S., Thoma GR. Pre-trained convolutional neural networks as feature extractors toward improved malaria parasite detection in thin blood smear images. *PeerJ* 2018; 6: e4568.
- [7] Irmak E. A Novel Implementation of Deep-Learning Approach on Malaria Parasite Detection from Thin Blood Cell Images. *Electrica* 2021; 21(2): 216–24. Doi: 10.5152/electrica.2020.21004.
- [8] Gopakumar GP., Swetha M., Sai Siva G., Sai Subrahmanyam GRK. Convolutional neural network-based malaria diagnosis from focus stack of blood smear images acquired using custom-built slide scanner. *J Biophotonics* 2018; 11(3): e201700003. Doi: 10.1002/jbio.201700003.
- [9] Maqsood A., Farid MS., Khan MH., Grzegorzec M. Deep Malaria Parasite Detection in Thin Blood Smear Microscopic Images. *Appl Sci* 2021; 11(5): 2284. Doi: 10.3390/app11052284.
- [10] da Costa AZ., Figueroa HEH., Fracarolli JA. Computer vision based detection of external defects on tomatoes using deep learning. *Biosyst Eng* 2020; 190: 131–44. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.12.003>.
- [11] Zhang Z., Liu H., Meng Z., Chen J. Deep learning-based automatic recognition network of agricultural machinery images. *Comput Electron Agric* 2019; 166: 104978. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.104978>.
- [12] Çetiner H. Yaprak Hastalıklarının Sınıflandırılabilmesi İçin Önceden Eğitilmiş Ağ Tabanlı Sinir

- Ağı Geliştirimi. *Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilim Derg* 2021; 15: 442–56. Doi: 10.54365/adyumbd.988049.
- [13] Montalbo FJP., Alon AS. Empirical Analysis of a Fine-Tuned Deep Convolutional Model in Classifying and Detecting Malaria Parasites from Blood Smears. *KSII Trans Internet Inf Syst* 2021; 15(1): 147–65. Doi: 10.3837/tiis.2021.01.009.
- [14] Çetiner İ., Var AA., Çetiner H. Classification of KNOT defect types. *2014 22nd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*. IEEE; 2014. p. 1086–9.
- [15] Çetiner H. Classification of Apple Leaf Diseases Using The Proposed Convolution Neural Network Approach. *J Eng Sci Des* 2021; 9(4): 1130–40. Doi: 10.21923/jesd.980629.
- [16] Cetiner I., Var AA., Cetiner H. Classification of knot defect types using wavelets and KNN. *Elektron Ir Elektrotehnika* 2016; 22(6): 67–72.
- [17] Rahman A., Zunair H., Reme TR., Rahman MS., Mahdy MRC. A comparative analysis of deep learning architectures on high variation malaria parasite classification dataset. *Tissue Cell* 2021; 69(September 2020): 101473. Doi: 10.1016/j.tice.2020.101473.
- [18] Jaeger S. Malaria cell images dataset, National Institute of Health (NIH) 2020.
- [19] He K., Zhang X., Ren S., Sun J. Deep Residual Learning for Image Recognition. *2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. IEEE; 2016. p. 770–8.
- [20] Rameen I., Shahadat A., Mehreen M., Razzaq S., Asghar MA., Khan MJ. Leveraging Supervised Machine Learning Techniques for Identification of Malaria Cells using Blood Smears. *2021 International Conference on Digital Futures and Transformative Technologies (ICoDT2)*. IEEE; 2021. p. 1–6.

UÇUCU KÜL İNCELİĞİNİN BETONUN SÜLFAT DİRENCİ ÜZERİNE ETKİSİ

Demet DEMİR ŞAHİN^{1*}, Hasan EKER², Mustafa ÇULLU³

¹Gümüşhane Üniversitesi, Gümüşhane Meslek Yüksekokulu, Madencilik ve Maden Çıkarma Bölümü, Gümüşhane, Türkiye

²Karabük Üniversitesi, Eskipazar Meslek Yüksekokulu, Mülkiyet Koruma ve Güvenlik, İSG Pr., Karabük/Türkiye

³Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Gümüşhane/Türkiye

Geliş Tarihi/Received Date: 05.01.2022 Kabul Tarihi/Accepted Date: 23.05.2022 DOI: 10.54365/adyumbd.1053376

ÖZET

Beton bileşiminden biri olan çimentonun hidrasyonu ile sülfat iyonları arasında oluşan kimyasal reaksiyon sonucu sülfat korozyonu oluşmakta ve bu oluşum betonda bozulmalara neden olmaktadır. Sülfatın beton üzerinde oluşturduğu hasarı azaltmak ya da en aza indirmek için çimento yerine uçucu kül gibi puzolanlar kullanılmaktadır. Bu çalışmada betonun ana bileşenlerinden biri olan çimento yerine çimentoya yakın bileşene sahip olan Afşin Elbistan Termik Santralinden temin edilmiş uçucu kül atığı kullanılmıştır. Uçucu külün (UK) bilyalı değirmende 0, 10 ve 20 dk öğütülmesi ile elde edilen farklı inceliklere sahip örnekler % 10 UK ikame oranı ile hazırlanarak uçucu kül katkılı beton örnekleri oluşturulmuştur. Daha sonra bu örnekler; % 5 ve % 10 katkılı sülfat çözeltisine maruz bırakılmış ve beton örneklerinin sülfat direnci üzerine etkisini araştırmak için basınç dayanımı ve ultrasonik dalga hızı ölçümü testlerine tabi tutulmuş, ağırlık kayıpları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre uçucu kül öğütme süresine bağlı olarak % 5 ve % 10 sülfat çözeltisine maruz bırakılmıştır ve daha sonra katkılı beton örneklerindeki basınç dayanım değerlerinde artışlar gözlenmiştir. Sülfat çözeltisi miktarının artmasıyla birlikte beton örneklerinin basınç dayanımının azaldığı ve bu beton örneklerinin referans örneğine göre daha yüksek basınç dayanımı değerine sahip olduğu görülmüştür. Bununla birlikte; öğütme süresinin artmasıyla ağırlık kayıplarının azaldığı görülmüştür. Ayrıca; öğütmenin etkisi ile uçucu külün inceliğinin artması sonucu ultrasonik dalga hızı değerlerinin de arttığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sülfat direnci, incelik, öğütme süresi, uçucu kül, C tipi, beton.

EFFECT OF FLY ASH FINENESS ON SULFATE RESISTANCE OF CONCRETE

ABSTRACT

Sulphate corrosion occurs due to a chemical reaction between the hydration of cement, which is a concrete compound, and sulphate ions, resulting in deterioration in concrete. Pozzuolanas such as fly ash are used instead of cement to reduce or minimize damage caused by sulphate on concrete. This study uses fly ash tailings from Afsin Elbistan thermal power plant, which has a component close to cement instead of cement, which is one of the main components of concrete. Examples of different fineness obtained by grinding the fly ash (FA) in the ball mill for 0, 10 and 20 minutes were prepared with a FA substitution rate of 10%, creating examples of fly ash-added concrete. These examples were then exposed to a 10% and 5% additive sulphate solution and tested for compressive strength and ultrasonic pulse velocity measurement tests to investigate the effect of concrete samples on sulphate resistance. According to the results obtained, the fly ash has been exposed to a solution of 5% and 10% sulphate, depending on the grinding time and then the increase in the compressive strength values in these concrete examples was examined. It has been found that the concrete samples added have reduced compressive strength by increasing the amount of sulphate solution and have a higher compressive strength value compared to the reference sample. Besides, weight losses have been reduced as the grinding time increases. It has also been determined that ultrasonic pulse velocity values have increased as a result of the increase in the fineness of the grinding and the fineness of the flying ash.

Keywords: Sulfate resistance, fineness, grinding time, fly ash, C type, concrete.

*1e-posta: demetdemir2929@hotmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0338-6562> (Sorumlu Yazar)

2e-posta: eker_hasan78@hotmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2644-4681>

3e-posta: mustafacullu@hotmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0454-7949>

1. Giriş

Beton agrega, çimento, su, mineral ve kimyasal katkıların bir araya gelmesinden oluşmaktadır [1, 2]. Beton bileşenleri; her yerde üretilebilen, dayanıklı, ekonomik ve kolay şekil alan, üretim süresi boyunca düşük enerji harcanan, en çok üretilen ve tüketilen yapı malzemesi olarak kullanım alanı bulmaktadır [3]. Özellikle insanların çok fazla kullandıkları okul, hastane, yol, köprü gibi yapıların uzun ömürlü, dış etkilere karşı dayanıklı olarak tasarlanması ve gelecekte oluşabilecek hasarlara karşı uzun ömürlü olması beklenmektedir. Bu yapılar üzerinde yıkıcı etkiler; fiziksel, kimyasal ve mekanik kökenli olmaktadır. İklim değişimi sonucu oluşan donma-çözünme, kış aylarında buz eritici olarak kullanılan çözücü tuzlar ve yüksek sıcaklık, fiziksel olarak etkiyi oluşturan bozulma nedenleri arasında yer almaktadır. Betonun bileşenlerini oluşturan malzemelere ve dışardan betona sızan zararlı maddelere bağlı olarak özellikle alkali-silika reaksiyonu, sülfat etkisi, karbonatlaşma, korozyon, bazı asit ve tuz etkileri kimyasal olarak da betonda hasar oluşturan reaksiyonların başında gelmektedir. Son olarak mekanik yolla betona darbe, aşınma ve erozyon da hasar vermekte dayanım süresini kısaltmaktadır [4].

Betonun direncini ve sülfatın zarar verici etkisi birçok parametre tarafından etkilenmektedir. Bu parametreler iç ve dış faktörler olarak ayrılmaktadır. Betonda sülfatın zarar verici şiddetini belirleyen faktörler; betonun karışım bileşenleri ve oranı, çimento türü, çimento içeriği, su/bağlayıcı oranı, katkılar ve çimento için kullanılan malzemeler, kürlenme ve kür durumu, gözenek gibi sertleşmiş beton özellikleri, yapı, geçirgenlik, yayılma ve mekanik özellikler, sülfat tipi, sülfat konsantrasyonuna maruz kalma koşulu, daldırma tipi ve maruz kalma sıcaklığıdır [5]. Betonda sülfatın şiddetini belirleyen dış faktörlerin başında ise çevresel koşullar gelmektedir. Mesela hava değişiklikleri nedeniyle çözünür tuzların lokalize göçü, kuru çevrim sırasında sülfat betonda birikebilir ve böylece konsantrasyonda artışla birlikte betonda bozulmaya yol açabilir [6].

Beton bileşeninin büyük çoğunluğunu oluşturan çimento üretim sürecinde çevreye zarar verici etkisi nedeniyle yüksek oranda karbondioksit üretmekte ve bu durum küresel ısınmanın yaklaşık %65'ini temsil etmektedir. Küresel ısınmanın büyük bir kısmından sorumlu olan çimento üretimi ekolojik olarak enerji tüketimi ve açığa çıkardığı karbondioksit (CO₂) miktarı ile çevreye verdiği zararın göstergesidir [7]. Bu nedenle çimento yerine alternatif bağlayıcılara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durum; sürdürülebilir ve ekolojik bir betonun gerekli olduğunun bir kanıtıdır. Çimento kaynaklı CO₂ emisyonunu azaltmak için puzolan gibi bağlayıcılar çimento yerine kullanılmaktadır. Bu sayede; betonun durabilitesinin artması yönünde büyük bir katkı sağlanmaktadır [8].

Çimentonun kimyasal bileşeni ile puzolanik kökenli mineral katkıların kimyasal bileşimi benzer olması nedeniyle çimento yerine puzolanik kökenli mineral katkıların kullanımı mümkündür. Bu katkıları sayesinde betonun sülfat saldırısına karşı direncinin artması ve doğaya bırakılan atık malzemenin geri dönüşüm olarak tekrar kazanımının sağlanması mümkün olabilmektedir [9]. Atık malzemelerin tekrar geri kazanılması ile çevre kirliliği ve bu atıkların çevreye verdiği tahribat da büyük oranda azaltılmaktadır [10-14]. Mineral katkı olarak adlandırılan atık ürünler içerisinde uçucu kül (UK) de yer almaktadır. UK; termik santrallerin enerji üretimi sırasında kömürün yanması ile bacalarda tutularak elde edilmektedir ve kalsiyum, silisyum, alüminyum gibi çimentonun ana bileşenlerinden oluşmaktadır [15]. Betonda çimento yerine kullanılan uçucu kül ile hazırlanan numuneler, normal beton numunesine göre daha az basınç dayanım kayıpları yaşaması sebebiyle tercih edilmektedir [16-18]. Ayrıca ortamda bulunan sülfata karşı betonun daha fazla dayanıklı olması için uçucu külün kullanımı ile ortamdaki Ca(OH)₂'i bağlayarak sülfatla reaksiyona girmesi engellenmektedir. Böylece bağlayıcı içindeki Ca(OH)₂ ve C3A oranının azaltılması sağlanmaktadır [19-21].

1.1. Literatür Özeti

Beton çeşitli nedenlerle bozulabilir ancak sülfata bağlı bozulma betonun özellikle erken dönemde bozulma sebeplerinin başında gelmektedir [3]. Beton içerisinde sülfatın zarar verici etkisinin derecesi; maruz kaldığı yeraltı suyu, yüksek kil içerikli toprakların varlığı, deniz suyu, organik maddeler ve

betonun üretim aşamasında kullanılan karışım suyundan ileri gelmektedir [22-24]. Bu sulardan ileri gelen sülfat iyonları beraberinde potasyum, sodyum, kalsiyum ve magnezyum gibi katyonlarla birlikte bulunmaktadır [25]. Bunların içerisinde zarar verici özelliği en yüksek olan magnezyum sülfat olup daha sonra sodyum sülfat gelmektedir. Bu iki sülfat içeriği kalsiyum, potasyum ve amonyum sülfattan çok daha yıkıcı özelliğe sahiptir [26].

Sülfat tuzları toprakta ve yeraltı suyunda bulunan sodyum sülfat (Na_2SO_4), magnezyum sülfat (MgSO_4) ve kalsiyum sülfat (CaSO_4) şeklinde yer almaktadır [27]. Sülfat içeriklerinden kalsiyum sülfat çok düşük çözünürlüğe sahipken, sülfat atağı ağırlıklı olarak çimento hidratlarının sodyum sülfat ile reaksiyonuna girmesi ve magnezyum sülfat oluşturması ile zarar verici olmaktadır [28]. Sülfat iyonları betonun hidrate olmuş bileşikleriyle reaksiyona girmektedir. Bu beton bileşikleriyle kalsiyum hidroksit (CH) [$\text{Ca}(\text{OH})_2$], kalsiyum alüminat hidrat, ve türüne bağlı olarak kalsiyum silikat hidrat (C—S—H) gibi çözeltilerdeki sülfat iyonları ile tepkimeye girmektedir [29]. Sodyum sülfatın ve magnezyum sülfatın, hidrate olmuş kalsiyum hidroksit ile reaksiyona girmesi sonucu alçı ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), sodyum hidroksit (NaOH) ve magnezyum hidroksit [$\text{Mg}(\text{OH})_2$] oluşmaktadır. Alçı taşı betonun genişlemesine neden olan hacim artışına oluşumuna, betonun sertliğinin ve mukavetinin azalmasına neden olmaktadır [30]. Üretilen alçıtaşı hidratlı kalsiyum ile reaksiyona girebilir. sülfalüminatlar ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$), hidratlı kalsiyum alüminatlar ($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 13\text{H}_2\text{O}$) veya hidratlanmamış trikalsiyum alüminatlar ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) ve etrenjit oluşturmaktadır ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$). Etrenjit oluşması ile betonda zarar verici etkinin artmasına neden olmaktadır. Bu zarar verici etki öncelikle betonun katı hacminin orijinalinkinden daha büyük bir artış (% 227) oluşturmaya sebep vermektedir. Hacimdeki artış genişlemeye neden olur, yani etrenjit kristallerinin büyümesinin uyguladığı strese ve zayıf kristalin tarafından su alınmasından kaynaklanan şişmeyi sağlar [29,30]. Sülfat iyonları sadece geniş etrenjit ve alçıtaşı oluşturmakla kalmaz, aynı zamanda hidratasyon nedeniyle üretilen kalsiyum silikat hidrat ile reaksiyona girer kalsiyum silikatlar C—S—H'dan kalsiyum kaybına neden olur. Bu etkide beton içerisinde sadece Magnezyum sülfatın bulunmasından kaynaklanır.

Sülfatın beton üzerinde zarar verici etkisinin başında beton içerisinde betonun hacmini arttırmaya neden olan etrenjit ve alçı taşı oluşumundan kaynaklanmaktadır [30]. Ayrıca sülfat iyonları kalsiyum hidroksit ile reaksiyonlarından sonra oluşan alçıtaşının yanı sıra katyon tipine bağlı olarak $\text{Mg}(\text{OH})_2$, NaOH gibi hidroksitler oluşmaktadır. Bu hidroksitlerin ortamda bulunması sülfatın zarar verici etkisini arttırmaya ve etrenjit oluşumuna zemin hazırlamaktadır. Sülfat etkisi ile oluşan zarar verici mekanizmalar beton bünyesinde bulunan çimentonun yumuşamasına ve bozulmasına sebep olmaktadır [31,32]. Bu iki zararlı kimyasal reaksiyon ürünü, sülfat iyonlarının sertleşmiş betondaki alüminli (C_3A) ve kalsiyumlu ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) bileşenlerle bir araya gelmesi sonucu oluşmaktadır [31,33,34]. Bu bileşenlerin beton içerisinde genişleme yapması ile çatlakların oluşumuna, geçirimsizliğin artmasına ve agrega-çimento hamuru aderansını etkileyerek betonun tamamen bozulmasına neden olmaktadır [35-37]. Betonda sülfat iyonu kimyasal reaksiyonlu bozulmalara neden olmaktadır. Bu şekilde oluşan bozulmalara karşı çimentonun kimyasal bileşeninin çimento yerine kullanılabilir malzemelerle değiştirmek yada desteklemek ve betonun geçirimsizlik kazandırılması ile hasarları engellemede ya da azaltmada en etkili önleme yöntemlerinin başında gelmektedir [38, 39]. Sülfatın zarar verici etkilerini en aza indirmek ya da ortadan kaldırmak için yıllardır süre gelen çalışmalar yapılmaktadır [40]. Bu çalışmalarda özellikle uçucu kül, silis dumanı, cüruf, metakaolen gibi mineral katkı kullanımı üzerinde yoğunlaşmış ve sülfat direncine karşı betonun direnci arttırılmaya çalışılmıştır [41-44]. Çünkü bu gibi atık malzemeler betonun gözenek yapısının özelliklerini iyileştirmede, kimyasal saldırı sonrası direncini arttırmada, kimyasal çözeltiyi nötralize etmede ve reaksiyona giren ürünleri biriktirme ile zarar verici yapısını pasif hale dönüştürmeyi sağlamaktadır [45]. Sülfata dayanıklı beton üretmek için yapılan çalışmalarda; uçucu kül kullanımının önemini vurgulamakla birlikte özellikle F tipi ya da düşük kalsiyumlu uçucu kül kullanımının betonun sülfat gibi kimyasal saldırısına karşı direncini arttırdığı ortaya konulmuştur [46, 47]. Puzolanların sülfat direnci üzerine etkisi özellikle portland çimentosunun ilk olarak su ile tepkimeye girmesi ve sonuç olarak $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ve C-S-H jelinin oluşmasına neden olmasıyla ilgilidir [48]. Tamda bu esnada açığa çıkan hidrate olmuş çimento ürünü ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), puzolanların bileşiminde bulunan aktif silis (SiO_2) ya da amorf puzolan taneleriyle tepkimeye girmesi daha çok C-S-H jeli oluşturmaktadır. Bu jel çimento hidratasyonu sonucu oluşan C-S-H ile aynı yapıda olup puzolanik reaksiyon sonucu oluşan

ürünün yoğunluğuna göre daha düşüktür [3,49]. Puzolanların tepkimeye girmesi sonucu serbest kireci bağlaması, alçı taşı oluşumunu ve bu bileşene bağlı olarak devam eden zararlı reaksiyonları azaltarak oluşan sülfat etkisini azaltmaktadır. Çimentonun bir kısmı ile puzolanik malzeme yer değiştirilerek kullanılması ile C₃A (3CaO.SiO₂) bileşeninin azalmasını bağlı olarak alüminat fazları da azalacaktır. Puzolan katkılı çimentolar normal bileşiminde çimentoya kıyasla çimento hidratasyon ürünü olan Ca(OH)₂'in büyük bir oranda tükettiği ve pH'ı düşürmesiyle etrenjit gibi şişerek genleşmeye neden olan jelin oluşumunu azaltmaktadır. Ayrıca puzolanların oluşturduğu C-S-H tabakası yüksek alüminat ve reaktif diğer fazların etrafında koruyucu tabaka oluşturması ikincil etrenjit oluşumunu engellemeye neden olur. Puzolanların kimyasal reaksiyonlarla sülfatlara karşı direnci desteklemesinin yanında sertleşmiş çimento hamurunun daha yoğun bir yapı kazanmasına, boşluklarda çökmesi ile de daha geçirimsiz katkılı çimentolar oluşturmaya buna bağlı olarakta sülfat iyonlarının betonun ana fazından içeri nüfuz etmesini engellemektedir [50].

Gözenek yapısı betonun geçirimsizliğini ve buna bağlı olarak kimyasal çözeltinin giriş derecesini etkilemektedir. Tamda bu kısımda uçucu kül inceliği devreye girmesi ile betonun ince gözenek yapısını ve kimyasal saldırı sonrası daha büyük bir direnç kazanmasına katkı sağlamaktadır [51]. Chareerat [52], çalışmada ince uçucu kül katkısı ile üretilen betonların, kalın uçucu kül katkılı betonlara kıyasla gözenek hacmini azalttığı ifade etmektedir. Uçucu kül, yüksek inceliğe sahip olacak şekilde öğütüldüğü zaman beton malzemesi olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir [53, 54]. Freeman ve Carrasquillo [55], çalışmalarında uçucu külü çimento ile öğüterek beton içerisinde kullandıklarında betonun sülfata karşı dayanıklı olduğunu görmüşlerdir. Çalışmalarında F ve C tipi uçucu külü %25 ve %35 oranında çimento içerisine mineral katkı olarak hem de çimento ile öğütülerek bileşen olarak kullanmışlardır. Sonuç olarak; öğütülmüş uçucu kül kullanımının sülfata karşı daha fazla direnç gösterdiğini, sülfata karşı C tipi uçucu külün, F tipi uçucu küle göre daha etkili olduğunu, sülfata bağlı genleşmeye karşı C tipi uçucu külün daha fazla etkili olduğunu ve düşük CaO içeren F sınıfı uçucu küllerin öğütülerek kullanılmasının referans numuneye göre betonun daha az genleşmesini sağladığını belirtmiştir. Yapılan çalışmalarda betonda ince malzeme olarak kullanılan atık ürünün betonun dayanıklılığını arttırmaya, gözenek miktarını azaltmaya ve sonrasında klorür penetrasyon direnci ve artan dirence bağlı sülfat saldırısı azaltmaktadır [56]. Chindaprasirt vd., [57] tarafından yapılan çalışmada, F tipi uçucu kül kullanımı sülfata karşı direnci arttırmaya özellikle uçucu külün inceliğinin artırılması orijinal küle göre daha çok arttırmaya ve genleşmeyi azaltmaya katkı sağladığını ifade etmişlerdir.

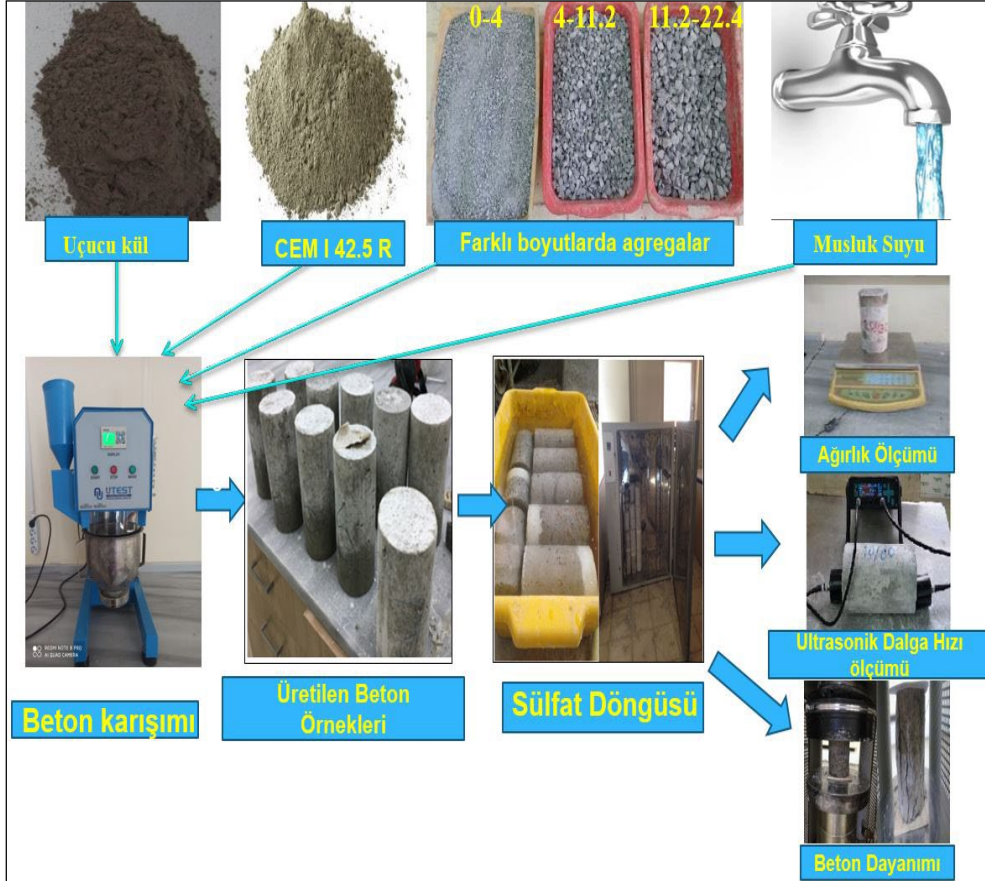
Bu çalışmada C tipi uçucu külün (0, 10 ve 20 dk) farklı öğütme sürelerinin ve çimento içerisinde % 10 oranında ikame edildiğinde elde edilen uçucu kül katkılı betonların sülfat atağına karşı (% 5 ve % 10 sülfatlı suya maruz bırakılmış) betonun performansı ve direnci üzerine etkisini belirlemek amaçlanmıştır. Bu kapsamda betonların sülfat etkisinde kaldığında basınç dayanımlarındaki değişimleri, ağırlık kaybı ve ultrasonik dalga hızı deneylerine tabi tutulmuş ve sonuçlar belirlenmiştir. Araştırma kapsamında % 5-% 10 konsantrasyona sahip çözeltiler kullanılarak 8 defa ıslanma kuruma çevrimi gerçekleştirilmiştir. Bu konsantrasyona sahip zemin doğada karşılaşılanlardan daha yüksektir. Her döngüden sonra numuneler alınıp ağırlık kayıpları ölçülmüştür. Son döngüden sonra tahribata uğrayan numuneler kesilerek basınç dayanımları ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre uçucu kül öğütme süresine bağlı olarak % 5 ve % 10 sülfat çözeltilerine maruz bırakılmış katkılı beton örneklerinin basınç dayanım değerlerinde artışlar gözlenmiştir. Bununla birlikte; öğütme süresinin artmasıyla ağırlık kayıplarının azaldığı, öğütmenin etkisi ile uçucu külün inceliğinin artması sonucu ultrasonik dalga hızı değerlerinin de arttığı belirlenmiştir.

2. Materyal ve Metod

2.1. Materyal

Bu deneysel çalışmada üretilen beton örneklerinde kullanılan malzemeler; kireçtaşı agregası, çimento, uçucu kül ve Gümüşhane şehir şebeke suyudur. Çalışmada kullanılan agrega Gümüşhane ilinde yer alan taş ocağından alınmış ve bu agreganın türü kireçtaşıdır. Bu agregaya ait farklı tane boyutları beton bileşeni içerisinde kullanılmış ve beton örnekleri üretilmiştir. Kullanılan boyutlar 0-4, 4-11.2,

11.2-22.4 mm olarak Şekil 1'deki deney akım şemasında gösterilmiştir. Beton numunelerin oluşturulmasında kullanılan CEM I 42.5 R çimento, Gümüşhane Aşkale çimento fabrikasından temin edilmiştir. Uçucu kül; Afşin Elbistan termik santralinden temin edilmiştir (Şekil 1). Çizelge 1'de Aşkale çimento fabrikasından alınan çimentoya ait fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikler verilmiştir.



Şekil 1. Deney akım şeması.

Çizelge 1. CEM I 42.5 R çimentoya ait fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikler.

Kimyasal Özellikler (%)		Fiziksel Özellikler	
SiO ₂	16.72	İncelik (45 µ elek üstü %)	8.50
Al ₂ O ₃	3.27	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	3.01
Fe ₂ O ₃	3.02	Özgül Yüzey (cm ² /gr)	4099
CaO	60.25	Priz Başlangıcı (saat-dk)	2saa-45dk
MgO	1.73	Priz Sonu(saat-dk)	3saa-30dk
SO ₃	2.70	Hacim Genişlemesi(mm)	0.9
Kızdırma Kaybı	5.27	Su İhtiyacı %	29.2
Na ₂ O	0.12		
K ₂ O	0.61		
Cl	0.0171		
Ölçülemeyen	5.7729		
Toplam	100		
s.CaO	0.30		
Katkı%	17.82		
		Mekanik T. Basınç Dayanımı(N/mm ²)	
		2.Gün	24.0
		28.Gün	51.86

Afşin Elbistan uçucu külüne ait kimyasal ve fiziksel özelliklerinin belirlenmesi için Gümüşhane Aşkale Çimento Fabrikası laboratuvarında yapılan fiziksel, kimyasal ve mekanik testler sonrasında elde edilen değerler Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Uçucu küle ait kimyasal ve fiziksel özellikler

Kimyasal Analiz (%)		Fiziksel Testler	
Bileşen	(%)	Fiziksel Özellikler	
SiO ₂	29.20	İncelik (45 µ elek üstü %)	50.72
Al ₂ O ₃	11.52		
Fe ₂ O ₃	6.57	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	2.63
CaO	37.74		
MgO	1.80	Özgül Yüzey (cm ² /gr)	1867
Na ₂ O	0.42		
K ₂ O	0.65	Priz Başlangıcı (saat-dk)	2saat-45 dk
SO ₃	4.55		
Cr ₂ O ₃	0.050	Priz Sonu(saat-dk)	3 saat-20 dk
Mn ₂ O ₃	0.052		
P ₂ O ₅	0.482	Hacim Genişlemesi(mm)	0
TiO ₂	0.52		
ZnO	0.001	Su İhtiyacı (%)	27.7
KK	2.25		
Toplam	95.81	Su miktarı (gr)	138.5
SCaO	4.63		

2.2. Metot

C25/30 dayanım sınıflarında üretilen betonlar, 28. güne kadar suda kürlenmeye bırakılmıştır. Kürlenme sonunda beton numuneleri, % 5 ve % 10 sülfat içerikli suya maruz bırakılmıştır ve ağırlık kaybı, ultrasonik dalga hızı ve basınç dayanımı değerleri belirlenmiştir.

2.2.1. Numunelerin hazırlanması

Bu deneysel çalışmada hazırlanan beton örnekleri Gümüşhane Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Yapı ve Malzemeleri Laboratuvarında Çizelge 3’te belirtilen karışım oranlarına göre hazırlanmıştır. 10 x 20 cm silindirik beton numunelerin TS 802 standardında ifade edilen C25/30 dayanım sınıfına göre tasarımı yapılmıştır.

Çizelge 3. Malzeme karışım miktarları.

Öğütme Süresi (dk)	Çimento Kg/m ³	Su Kg/m ³	Uçucu Kül Kg/m ³	Agrega						Hava dm ³	S/Ç	Teorik Ağırlık (kg/m ³)
				İnce (0-4 mm)		Orta (4-11.2 mm)		Kaba (11.2-22.4 mm)				
				%	Kg/m ³	%	Kg/m ³	%	Kg/m ³			
Referans	348	190	0	38%	686	18%	328	44%	801	20	0.55	2353
0	313.2	190	29.5	38%	686	18%	328	44%	801	20	0.55	2347
10	313.2	190	30.4	38%	686	18%	328	44%	801	20	0.55	2348
20	313.2	190	30.5	38%	686	18%	328	44%	801	20	0.55	2348

2.2.2. Sülfat Dayanıklılığı Tayini

Üretilen beton örneklerinin sülfat direncinin belirlenmesi için numuneler ıslanma-kuruma çevrimine tabi tutulmuştur. Deneylerde kullanılan sodyum sülfat (Na_2SO_4) çözeltisi; 100 lt çözelti için 90 lt su ve 10 kg Na_2SO_4 kullanılmasıyla ağırlıkça %10'luk çözelti, 100 lt çözelti için 95 lt su ve 5 kg Na_2SO_4 kullanılmasıyla ağırlıkça % 5'lik çözeltiler elde edilmiştir. 105°C 'de, 2 gün bekletildikten sonra sodyum sülfat (Na_2SO_4) içeriği % 5 ve % 10 olan solüsyonda içerisinde 2 gün bekletilmiştir. Bu şekilde bir ıslanma-kuruma çevrimi 8 kez yapılmıştır. Her çevrimden sonra beton örneklerin ağırlık kayıpları belirlenmiştir. Bu şekilde bir ıslanma-kuruma çevrimi yapılmıştır. Her çevrimden sonra beton örneklerin ultrasonik dalga hızları ve ağırlık kayıpları belirlenmiştir.

2.2.3. Ultrasonik Dalga Hızı Ölçümü

Hazırlanan beton numuneleri; Ultrasonik dalga hızı ölçümü ASTM C 597'e göre belirlenmiştir. Numune üzerine gönderilen vibrasyonel enerjinin hızının ölçülmesinden elde edilmektedir. Beton örneğinin yatay tutulması sonrasında bir yüzeyinden içeriye gönderilen ses üstü dalgaların, numunenin diğer bir yüzeye kadar zamanda geçtiği değer ölçülmekte ve denklem (1) kullanılarak belirlenmektedir.

$$V = \left(\frac{S}{t}\right) \times 106 \quad (1)$$

Burada; V = P dalga hızı (metre/saniye),

S= Numunenin ses üstü dalga gönderilen yüzeyi ile dalganın alındığı yüzeyi arasındaki mesafe (metre),

t = Beton yüzeyinden P dalganın gönderilmiş ve alındığı yüzeye kadar geçen zamandır (mikro saniye).

2.2.4. Ağırlık Kaybı

Hazırlanan beton örnekleri, 28 gün kür havuzunda bekletildikten sonra çıkarılmış ve numuneler laboratuvar ortamında 1 gün kuruması için bekletilmiştir. Kuruyan numuneler ilk tartımı yapılarak ilk ağırlık değeri not edilmiştir. Daha sonra Na_2SO_4 içeriği % 5 ve % 10 olan solüsyon içerisinde numuneler bekletilmiş ve 8 döngü sonrasında çevrim tamamlanmıştır. Yapılan her çevrim sonrası numunelerin ağırlık değerleri ölçülmüş ve başlangıç ağırlık değerinden çıkarılarak değişim miktarı % olarak denklem 2'de ifade edilmiştir.

$$\% \text{ Ağırlık kaybı} = \frac{(\text{Son ağırlık} - \text{İlk ağırlık})}{\text{İlk ağırlık}} \times 100 \quad (2)$$

2.2.5. Basınç Dayanımının Tayini

Bütün çevrimlerin tamamlanmasından sonra numuneler, TS EN 12390-3 standardına göre basınç dayanımına tabi tutulmuştur. Basınç dayanım değerleri belirlenirken her bir öğütme süresinde 3 adet numune kırılmış ve üçünün ortalaması değer olarak alınmıştır. Beton basınç dayanımının hesaplanması denklem 3 kullanılarak yapılmıştır.

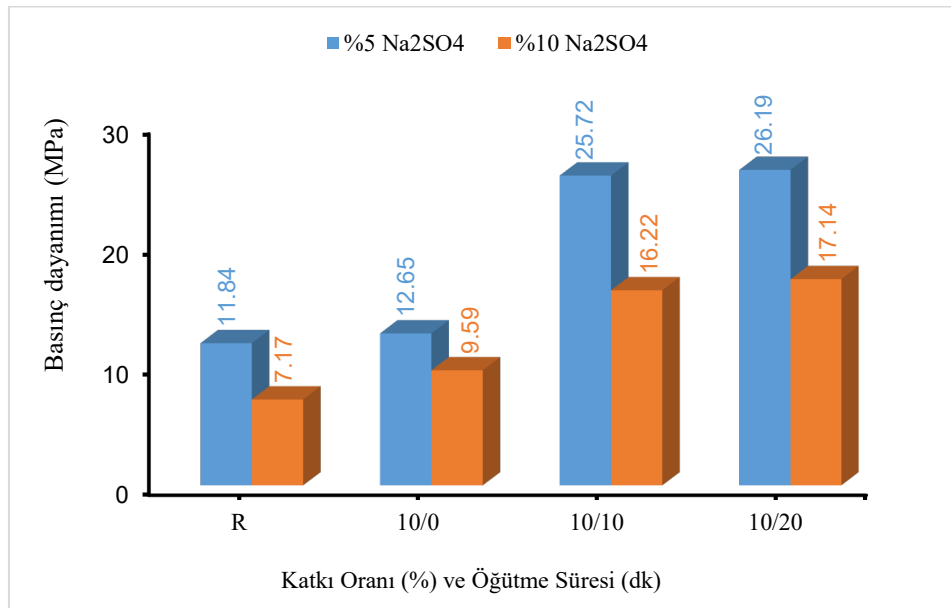
$$f_c = \frac{F}{A_c} \quad (3)$$

Eşitlikte;

f_c = Basınç dayanımı, MPa (N/mm^2),
 F = Kırılma anında ulaşılan en büyük yük, N,
 A_c = Numunenin, üzerine basınç uygulandığı en kesit alanı, (mm^2) ifade etmektedir.

3. Bulgular ve Tartışma

Uçucu külün 0, 10 ve 20 dk öğütme sonrası farklı incelikte elde edilen uçucu küllerin çimento içerisinde % 10, ikame edilmesi ile katkılı betonlar üretilmiştir. Üretilen betonların 28 günlük kür süresi sonrasında % 5 ve % 10 Na_2SO_4 solüsyon içerisinde bekletilmesi ile belirlenen basınç dayanım değerleri Şekil 2’de verilmiştir.

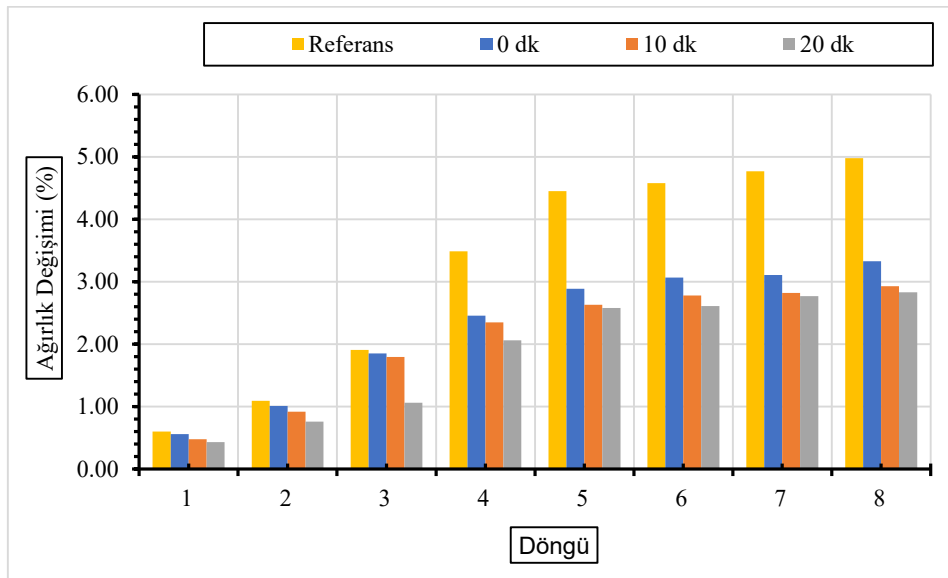


Şekil 2. Farklı incelikli ve % 10 uçucu kül ikameli betonların basınç dayanım değerleri.

Şekil 2’de görüldüğü üzere; % 10 uçucu kül katkılı beton örneklerinin % 5 Na_2SO_4 çözeltisi içerisindeki örneklerin basınç dayanım değerleri % 10 Na_2SO_4 çözeltisi içerisinde bekletilen örneklere göre daha yüksek değerler aldığı belirlenmiştir. Her iki çözelti içerisinde bekletilen uçucu küllerin basınç dayanım değerlerinin uçucu kül inceliğinin etkisi ile artış gösterdiği açıkça ortaya konulmuştur. Ayrıca uçucu kül katkılı beton örneklerinin basınç dayanım değerleri referans beton örneğine göre daha yüksek basınç dayanım değerleri almıştır. % 10 uçucu kül katkılı betonların farklı sülfat çözeltisi içerisinde maruz bırakılmasında basınç dayanım farkının öğütme etkisi ile en belirgin artış 10 dk öğütme süresinde yaşanmıştır. Bununla birlikte; en yüksek basınç dayanıma sahip numunenin 20 dk öğütme süresine tabi tutulmuş %10 ikameli uçucu kül numunesinde olduğu görülmüştür. Uçucu külü öğütme etkisi ile inceltmesi ve farklı ikame oranlarında beton bileşiminde çimento yerine kullanılması basınç dayanımını arttırdığı yönünde literatürde destekleyici çalışmalarda mevcuttur. İkame oranının etkisinin optimum karışım oranında maksimum performans veren beton üretmek olduğu birçok çalışmada vurgulanmaktadır. Fournier vd. [58] ve ASTM C 618-05 [59] beton içerisinde çimento bileşiminin yerine % 30 oranında uçucu kül ikamesi puzolanik aktiviteyi arttırdığını ve puzolanik reaksiyon sonucu dayanımı destekleyici hidrasyon ürünlerinin oluşturduğunu ifade etmişler. Farklı ülkelerde yapılan birçok çalışmada yaygın olarak uçucu külün çimento yerine kullanım oranı % 20-30 olarak kabul edilmiştir. Ancak bizim çalışmamızda % 10 ikame oranında da sülfat etkisi altında betonun basınç dayanım değerlerinin referans betona kıyasla daha iyi performans gösterdiği belirlenmiştir. İkame oranının etkisi ve yaygın kullanım oranının belli aralıklarda kabul edilmesi uçucu külün küresel şekilde

olması, puzolanik özellik göstermesi, betonun işlenebilirliğini kolaylaştırması, uzun vadede mekanik ve dayanıklılık özelliğini iyileştirmede ideal bir katkı oranı ile durabilitesi yüksek betonlar elde edildiğinin kanıtıdır [60-63]. Bu çalışma da ise literatüre kıyasla daha düşük ikame oranı ile daha yüksek dayanım performansının oluşturulması uçucu külün inceliğinin etkisinin bir göstergesi olarak kabul görmüştür. Çünkü uçucu külde incelik artışı beton içerisinde ikame oranının değiştirilmesinde her zaman olumlu sonuçlar verdiğini göstermektedir. Tkaczewska ve Małolepszy [64] çalışmalarında termik santralden farklı inceliklere sahip uçucu kül toplayarak bu külü çimento yerine % 40 oranında kullanmaları ile hazırladıkları örneklerin farklı kür sürelerinde Na_2SO_4 çözeltisinde beklemeye bırakmışlar. Numunelerin basınç dayanım değerlerini kıyasladıklarında tüm kür süreleri içinde en ince uçucu kül katkılı betonda en yüksek basınç dayanım değerlerine rastlamışlar. Arel ve Shaikh [65] ise çalışmalarında 2 farklı blaine incelik değerlerine sahip uçucu kül nano silika (NS) kullanmışlar. Çalışmada çimentonun yerine % 5, % 15 ve % 60 oranında uçucu kül kullanılarak harç örnekleri hazırlamışlar. Bu numuneler farklı kür koşullarında ve sülfat çözeltisine maruz bırakılmıştır. Numunelerin mekanik ve dayanıklılık özellikleri üzerine uçucu kül inceliğinin etkileri değerlendirmişler. Yüksek inceliğe sahip uçucu küllerin ıslak kür koşullarında iri tane boyutuna sahip uçucu küllere nazaran daha yüksek basınç dayanım değerleri gösterdiği gözlemlenmiştir. Chindaprasirta vd., [66] uçucu külü elek ve hava ayırıcı yöntemle inceliklerine göre ayırmışlar. Bu uçucu külleri çimento yerine % 40 oranında kullanılması ile hazırlanan örneklerin 3, 7, 28 ve 90 gün sonrası basınç dayanım değerlerini belirlemişler. Bu örnekler içerisinde tüm kür süreleri boyunca en yüksek dayanımın, ince uçucu kül karışımlarında olduğu görmüşler. İnce uçucu külün daha reaktif olması ve kullanımının daha yoğun bir çimento matrisi oluşturmasıyla birlikte harcın daha iyi mekanik özelliklere sahip olması, yapılan birçok çalışmada ve bu çalışmada elde edilen sonuçlarla aynı eğilimi gösterdiği görülmüştür.

Çimento içerisinde 0, 10 ve 20 dk öğütme süresine sahip uçucu külü % 10 ikame oranında kullanıldığında oluşturulan beton örneklerinin % 5 ve % 10 Na_2SO_4 çözeltisine maruz bırakılmasıyla numunelerin 8 döngü boyunca ağırlık kayıpları Şekil 3-4'te verilmiştir.

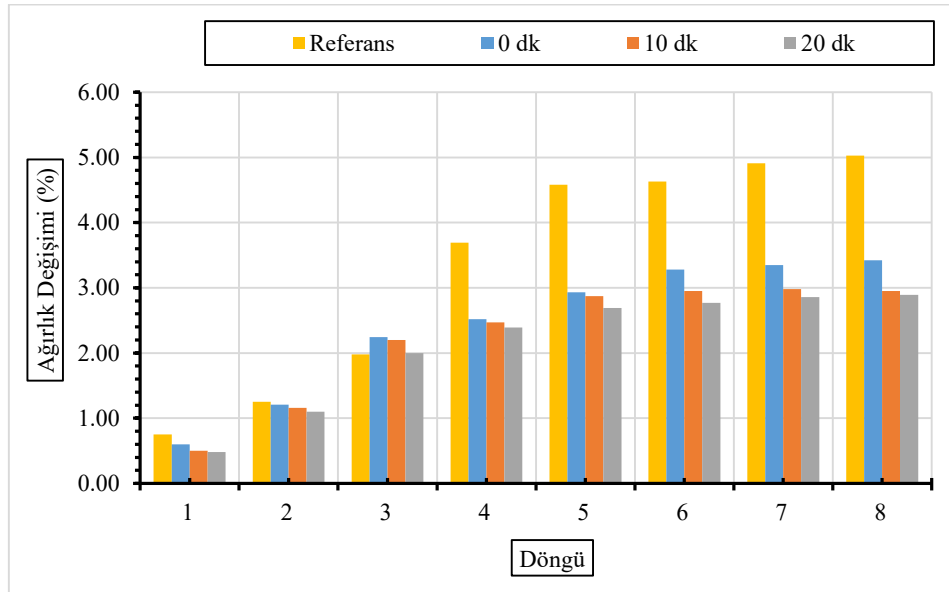


Şekil 3. Farklı incelikli ve % 10 uçucu kül ikameli betonların % 5 Na_2SO_4 çözeltisi içerisinde ağırlık kaybı değerleri.

Şekil 3'te görüldüğü üzere; % 5 Na_2SO_4 çözeltisine maruz bırakılan farklı öğütme süreli betonlarda ağırlık kaybının en çok uçucu kül ikamesiz referans betonda olduğu görülmüştür. Beton

örneklerindeki ağırlık kaybı uçucu kül inceliğinin artışı ile azalma göstermiştir. % 5 Na₂SO₄ çözeltisine maruz bırakılan betonlarda ağırlık kaybı değerleri basınç dayanım değerleri ile paralellik göstermektedir.

% 10 Na₂SO₄ çözelti içerisinde bekletilen numunelerde ağırlık kaybı değerleri % 5 Na₂SO₄ çözeltisinde bekletilen numunelere benzer sonuçlar elde edilmiştir. % 10 Na₂SO₄ çözeltisine maruz bırakılan farklı öğütme süreli betonlarda ağırlık kaybının en çok uçucu kül ikamesiz referans betonda olduğu görülmüştür. Beton örneklerindeki ağırlık kaybı uçucu kül inceliğinin artışı ile genel olarak azalma göstermiştir. % 10 Na₂SO₄ çözeltisine maruz bırakılan betonlarda ağırlık kaybı değerleri basınç dayanım değerleri ile paralellik göstermekte olduğu anlaşılmıştır (Şekil 4).

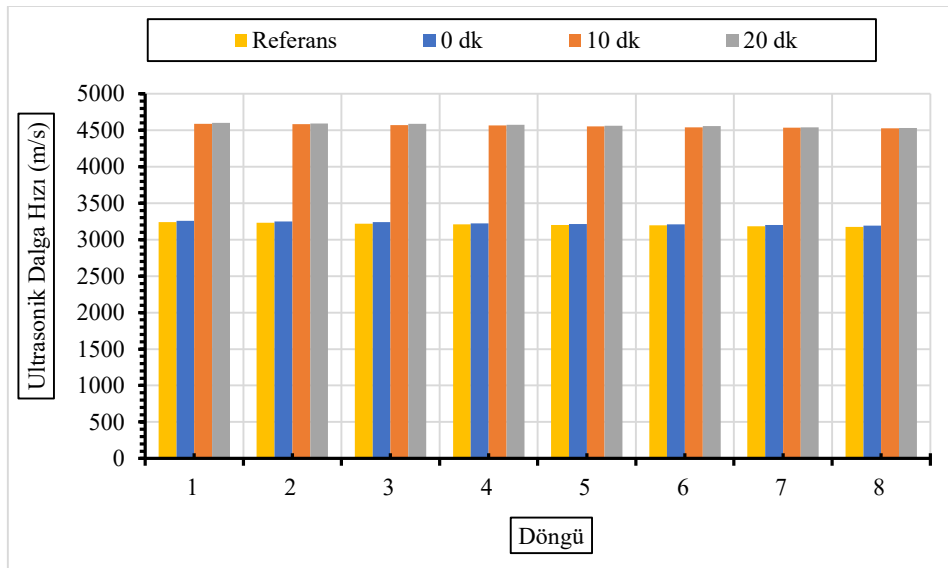


Şekil 4. Farklı incelikli ve % 10 uçucu kül ikameli betonların % 10 Na₂SO₄ çözeltisi içerisinde ağırlık kaybı değerleri.

Literatürde çimento yerine ince uçucu külün kullanımı ile ağırlık kaybı üzerine etkisini yansıtan çok fazla çalışma mevcut değildir. Ancak elde edilen sonuçlara göre uçucu kül kullanımının ağırlık kaybı üzerinde çok önemli bir etkisinin olduğunu göstermektedir. Bu çalışmada uçucu kül kullanımının ağırlık kaybı üzerine etkisinin değişimi ile kıyaslanarak desteklenmiştir. Alnkaa [67] beton içerisinde % 0, % 5, % 10, % 15 oranlarında çimento yerine uçucu kül ikamesinde en düşük ağırlık kaybının % 15 katkılı betonlarda elde ettiklerini ifade etmişler. Betonun ağırlık kaybının uçucu kül ikamesinin yüksek olmasına bağlı olarak azaldığı ancak maruz bırakılan Na₂SO₄ çözelti miktarının artması ile arttığı, ikame oranını pasifleştirmede çözelti miktarının etkili olduğunu göstermiştir. Balakrishnan ve Awal [68] çalışmalarında en düşük orandan en yüksek orana (% 0, % 40, % 50 ve % 60) kadar uçucu külün beton içerisinde kullanımının fiziksel ve kimyasal saldırılara karşı dayanıklılık performansları üzerine etkisini çalışmışlar. Bunun için farklı zaman süresi boyunca hazırladıkları numuneleri sülfata maruz bıraktıklarında ağırlık kaybının zamanla arttığı ancak uçucu kül ikame oranının artışı ile azaldığını belirlemişler. En düşük ağırlık kaybını % 60 uçucu kül katkılı betonlardan elde ettiklerini ifade etmişler. Uçucu külün beton karışımında yüksek oranda kullanılması boşlukları daha iyi doldurması, boşluklarda var olan suyun kaçışını engellemesi uçucu kül katkılı betonlarda ağırlık kaybı düşüşlerin yaşanmasına neden olmaktadır. Bu düşüşler tıpkı bizim çalışmamızda olduğu gibi ince uçucu kül kullanımı ile daha fazla azaltılabileceğini göstermektedir. Binici vd., [69] ise çalışmalarında silis dumanı, yüksek fırın cürufu ve uçucu kül kullanarak hazırladıkları betonları % 10 Na₂SO₄ çözeltisinde 60 günlük süre zarfında bekletmeye bırakmışlardır. Bu sürenin sonunda katkılı beton numunelerin kütle değişimi

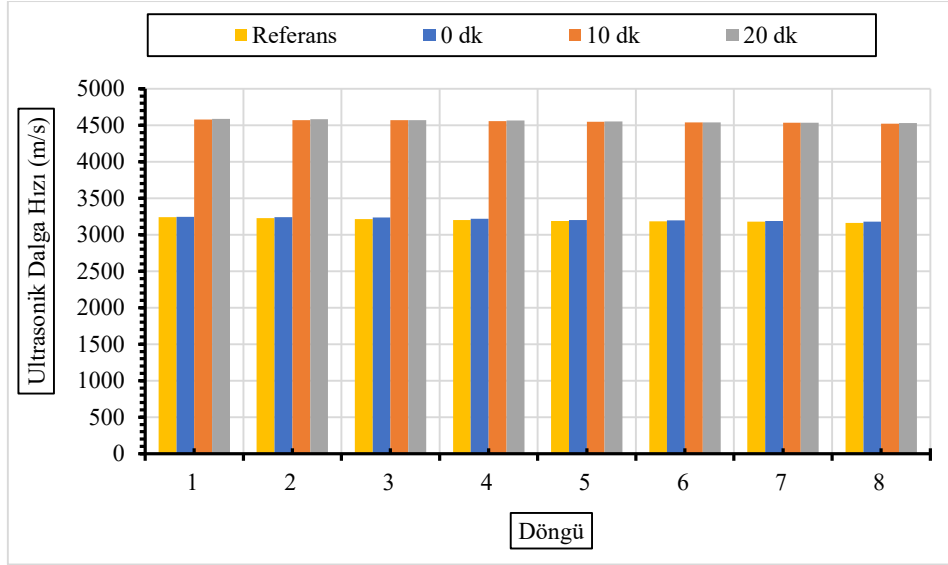
referans betonun kütle değişiminden düşük değerler aldığını, en düşük kütle kaybının ise yüksek fırın cürufu katkılı betonlarda belirlediklerini ifade etmişler. Bunun sebebi olarak yüksek fırın cürufunun sülfat etkisi altında daha dayanıklılık gösterdiğini ve elde edilen sonuçların basınç dayanımı değerleri ile benzerlik gösterdiğine değinmişler. Uçucu külün çimento yerine beton içerisinde kullanıldığında sülfata maruz kaldığında kütle kaybı üzerine olumlu etkisinin, uçucu külün puzolanik özellik göstermesi ve bu özelliğinin incelikte birlikte artması daha çok yararlı hidrasyon ürünlerinin açığa çıkarmasına sebep vermesi elde ettiğimiz deney sonuçlarının bir kanıtı olarakta destek görmektedir. Ayrıca uçucu külde inceliği arttırmanın beton boşluklarını daha iyi doldurması, zararlı hidrasyon ürünlerini bağlaması sonucu oluşabilecek sülfat saldırılarına karşı direnci arttırmayı sağladığı ve bu durumun oluşacak kütle kayıplarının önüne geçmeyi sağladığı anlaşılmıştır [70, 71]. Corral-Higuera vd., [71] çalışmasında % 10 silis dumanı ve % 30 uçucu kül katkılısının her biri ile geri dönüşüm agregası kullanılarak hazırlanan beton örnekleri % 3.5 sodyum sülfat çözeltisine maruz bırakmışlar. Silis dumanı katkılı betonda ağırlık kaybı normal betona kıyasla 20 kat, uçucu kül katkılı betonlarda ise 8 kat azaldığını belirlemişler. Katkılı betonların üretiminde katkı çimento matrisini yoğunlaştırması ve gözenek yapısını azaltması sonucu yeraltı suyu ve yüksek sülfat içerikli suya maruz kaldığında betonun dayanıklılığını arttırmaya ve beton endüstrisinin sürdürülebilirliğine katkıda bulunması uçucu külün inceliğinin ve ikame oranının ne derece etkili olduğunu yapılan çalışmada ortaya koymaktadır [71].

Çimento içerisinde 0, 10 ve 20 dk öğütme süresine sahip uçucu külü % 10 ikame oranında kullanıldığında oluşturulan beton örneklerinin % 5 ve % 10 Na_2SO_4 çözeltisine maruz bırakılan örneklerin 8 döngü boyunca ultrasonik dalga hız değerleri Şekil 5-6'da verilmiştir.



Şekil 5. Farklı incelikte ve % 10 uçucu kül ikameli betonların % 5 Na_2SO_4 çözeltisi içerisinde ultrasonik dalga hızı değerleri

Şekil 5 ve 6'da görüldüğü üzere; uçucu kül öğütme süresinin artmasıyla birlikte ultrasonik dalga hızı değerlerinin genel olarak arttığı, döngü sayısı arttıkça azaldığı belirlenmiştir. Ancak değerlerin birbirine çok yakın olduğu ve basınç dayanımı değerleri ile benzerlik gösterdiği görülmüştür.



Şekil 6. Farklı incelikte ve % 10 uçucu kül ikameli betonların % 10 Na₂SO₄ çözeltisi içerisinde Ultrasonik dalga hızı değerleri.

Bir yapıda ultrasonik dalga boyu değişim değerleri yapısının boşluk yapısını yansıtan ön önemli kıyaslayıcı ölçütlerden biridir. Uçucu külün çimento yerine beton içerisinde kullanımının boşluk yapısı üzerinde tamamlayıcı etkisi alanında çalışmalar mevcuttur. Ancak uçucu külün inceliğinin betonun boşluk yapısı üzerinde oluşturduğu etki tam anlamıyla ortaya koyan çok fazla çalışma bulunmamaktadır. Bu kapsamda yapılan çalışmada uçucu kül kullanımının yanı sıra inceliğinin de beton yapısının boşluk özelliği üzerinde olumlu etki yarattığı yapılan deney sonuçları ile belirlenmiş ve literatürle sonuçlar karşılaştırılmıştır. Aydın ve Balkis [72] çalışmalarında çimento yerine % 20, % 40, % 60 ve % 100 oranlarında uçucu kül kullanımı ile üretilen 50, 150 ve 250 mm çökme değerlerine sahip betonların ultrasonik darbe hızı değerlerini belirlemişler. Elde ettikleri sonuçlara göre çimento yerine uçucu kül eklemenin yapının sağlamlığını ve dayanımını artırıcı C-S-H yapısının oluşmasına katkı sağladığını belirtmişler. Tıpkı bizim çalışmamızda da olduğu gibi uçucu külün daha ince boyutta kullanımının ultrasonik darbe hızı değerlerini arttırdığı yönünde destekleyici nitelikte kabul edilmektedir. Çünkü uçucu külden incelik artışı puzolanik reaksiyon gibi tane yüzeyinde başlayan reaksiyonların daha hızlı ortaya çıkarmaya, daha fazla reaksiyon ürünlerinin açığa çıkmasına ve bu ürünlerin boşluklarda daha fazla yer alması sonucu ultrasonik darbe hızını yükselttiği hem bu çalışmada hem de başka çalışmalarda sonuçların doğruluğunu desteklediklerini görmek mümkündür. Rao ve Kumar [73] çalışmalarında % 0, % 20, % 40 ve % 60 ikame oranlarında uçucu külün çimento yerine kullanılması ile hazırlanan betonların mekanik ve durabilite özelliklerinin belirlenmesi için bir takım testlere tabi tutmuşlar. Bu test sonuçlarında optimum ikame oranının % 40 uçucu kül oranında yakalamışlar ve uçucu kül ikamesinin artması boşluk hacmini düşürdüğünden ultrasonik darbe hızı değerlerinin artmasını sağlamıştır. Çünkü normal uçucu külün betonda kullanıldığında agregalar arasındaki boşlukları doldurması ile porozitenin azalmasını katkı sağlamıştır [74]. Liu vd., [75] çalışmalarında ise uçucu külü beton bileşiminde çimento yerine % 0, % 20 ve % 40 oranında kullanarak hazırladıkları örnekleri, % 5 sodyum sülfat çözeltisine maruz bırakmışlar. Çalışmada maruz kalan örnekler üzerine çatlak analizi, ultrasonik dalga boyu ve uzunluk değişim değerlerini incelemişler. En yüksek ultrasonik dalga boyunu % 40 uçucu kül ikameli betonda elde etmişlerdir. Boşlukları doldurma ve geçirimsiz bir malzeme oluşturma kabiliyetini % 40 ikame oranında yakalamışlardır. Karışımda uçucu kül miktarının artması gözenekliliğin azalmasına, darbe hızı ve basınç dayanımının arttırdığını görmüşler. İnce tane boyutuna sahip uçucu külün beton içerisinde çimento yerine kullanılması ile çimento taneciklerinin arasındaki boşlukları doldurmaya neden olmuştur. Bu durum tanecikler arasında su geçişini engellemeye sebep vermiştir. Betonda uçucu külün tane yapısının farklı özellikleri iyileştirmesi, destekleyici özellik kazandırması ile dışarıdan gelebilecek asit saldırısına karşı daha dayanıklı yapı kazanmasını elde edilen deney sonuçlarında destekleyici verilerin alınmasının bir kanıtı olarak gösterilebilmektedir [76].

4. Sonuç ve Öneriler

C tipi uçucu külün (0, 10 ve 20 dk) farklı öğütme sürelerinin ve çimento içerisinde % 10 oranında ikame edildiğinde elde edilen uçucu kül katkılı betonların sülfat atağına karşı (% 5 ve % 10 sülfatlı suya maruz bırakılmış) betonun performansı ve direnci üzerine etkisini belirlemek amaçlanmıştır. Bu kapsamda; sülfata maruz kalan beton numunelerinin basınç dayanımı, ağırlık kaybı ve ultrasonik dalga hızı değişimlerini belirlemek için bir takım deneylere tabi tutulmuştur. Bu bulgulara dayanarak;

- ❖ Uçucu kül katkılı betonlar normal betonlara göre sülfat etkisine karşı daha çok dayanım göstermiştir.
- ❖ En iyi performans ve dayanımın, %10 uçucu kül katkılı ve 20 dakika öğütme işlemine tabi tutulmuş numune de olduğu görülmüştür.
- ❖ Uçucu kül inceliğinin artışı ile sülfata karşı direncin arttırılmasına katkı sağlanmıştır.
- ❖ Beton da katkı olarak kullanılan uçucu kül inceliğinin artışı ile betonun geçirimliliğini azaltılarak agresif suların beton içerisine girişi azaltılmıştır.
- ❖ Uçucu kül gibi puzolanların beton bileşiminde çimento olarak kullanılması hidrasyon sonucu zarar veren kimyasal reaksiyonların oluşmasını engellediği gibi boşlukları doldurarak dayanımı daha yüksek betonlar elde edilmesini sağlamaktadır.
- ❖ Betonda boşlukların uçucu külün ince taneleri ile doldurulması ya da kimyasal reaksiyon sonrası C-S-H yapısı ile daha kompakt hale gelmesi durabilitesi yüksek, uzun ömürlü ve dışarıdan gelebilecek saldırılara karşı dayanıklı betonlar oluşturmaya katkı sağlamaktadır.

İleri de yapılacak çalışmalarda; farklı ikame oranlarının ve daha uzun süreli öğütme sürelerine sahip beton numunelerinin hazırlanması ve basınç dayanımı, ultrasonik dalga hızı ve ağırlık kaybı deneylerinin yapılması gerektiği önerilmektedir.

Teşekkür

DeneySEL çalışmalardaki yardımlarında dolayı Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği öğrencilerine teşekkür ederiz.

Yazar(lar)ın Katkıları

DDŞ, HE ve MÇ deney ve analiz çalışmalarını yaptı. DDŞ, HE ve MÇ ile birlikte deney sonuçlarını değerlendirip ve makaleyi yazdılar. Her üç yazar da makalenin son halini okudu ve onayladı.

Çıkar Çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynaklar

- [1]. Alişer, B., Mermer Tozu ve Cam Elyaf Katkılı Çimento Harçlarının Sülfat Dayanıklılığının Araştırılması, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Elazığ, 2013.
- [2]. Gu, G. P., J. J. Beaudoin, and V. S. Ramachandran., Techniques For Corrosion Investigation In Reinforced Concrete. In Handbook Of Analytical Techniques In Concrete Science And Technology: Principles, Techniques And Applications, edited by V. S. Ramachandran and J. J. Beaudoin, 441–501. Norwich, NY: William Andrew/Noyes, 2006.

- [3]. Al-Dulaijan, S.U., Maslehuddin, M., Al-Zahrani, M.M., Sharif, A.M., Shameem, M., Ibrahim, M., Sulfate Resistance of Plain and Blended Cements Exposed to Varying Concentrations of Sodium Sulfateauthor Links Open Overlay Panel, Cement and Concrete Composites, May–July 2003. Volume 25, Issues 4–5, Pages 429-437.
- [4]. Baradan B., ve Yazıcı., Betonarme Yapılarda Durabilite ve TS EN 206-1 Standardının Getirdiği Yenilikler” Türkiye Mühendislik Haberleri 2003.Sayı 4/ 426.
- [5]. Prasad, M., Palepu, R., Moulik, S. P., Interaction between Sodium Dodecyl Sulfate (SDS) and Polyvinylpyrrolidone (PVP) investigated with forward and Reverse Component Addition Protocols eemploying Tensiometric, Conductometric, Microcalorimetric, Electrokinetic, and DLS Techniques, Colloid and Polymer Science 2006.volume 284, pages871–878 .
- [6]. M., Karakouzian, N., Ghafoori. Predictive Modeling of Soluble Sulfate Ion Concentration in The Las Vegas Valley. In: Proceeding of the 3rd International Structural Engineering and Construction Conference (ISEC-03), Shunan, Japan, 2005.p. 279–286.
- [7]. McCaffrey, R., Climate Change and the Cement Industry, Global Cement and Lime Magazine, (Environmental Special Issue), 2002.pp. 15–19.
- [8]. Davidovits, J., High-Alkali Cements for 21st Century Concretes, Special Publication, 1994. pp. 383–398.
- [9]. Irassar, E., Di Maio, A., Batic, O., Sulfate Attack On Concrete With Mineral Admixtures. Cem Concr Res; 1996. 26(1):113–123.
- [10]. Senthamarai, R., Devadas Manoharan, P., Gobinath, D., Concrete Made from Ceramic Industry Waste: Durability Properties. Constr Build Mater; 2011.25:2413–2419.
- [11]. Huang, B., Dong, Q., Burdette, E. G., Laboratory Evaluation of Incorporating Waste Ceramic Materials into Portland Cement and Asphaltic Concrete. Constr Build Mater; 2009.23:3451–3456.
- [12]. Pereira, O., Luiz, A.Castro-Gomes Joao P, Santos Pedro MS., The Potential Pozzolanic Activity of Glass and Red-Clay Ceramic Waste As Cement Mortars Components. Constr Build Mater; 2012.31:197–203.
- [13]. Higashiyama, H., Yagishita, F., Sano, M., Takahashi, O., Compressive Strength and Resistance to Chloride Penetration of Mortars Using Ceramic Waste as Fine Aggregate. Constr Build Mater; 2012.26:96–101.
- [14]. Medina, C., Sánchez, R. M., Frías, M., Reuse of Sanitary Ceramic Wastes as Coarse Aggregate in Eco-Efficient Concretes. Cement Concr Compos; 2012.34:48–54.
- [15]. Erdoğan, Ş., Kurbetçi, Ş., Betonun Performansına Sağladıkları Etkinlik Açısından Kimyasal ve Mineral Katkı Maddeleri, Türkiye Mühendislik Haberleri, 2003.426 (4): 115-120.
- [16]. Franus, W., and Dudek, K., Clay Minerals and Cinoptilolite from the Variegated Shales Formation in the Skole Unit, Polish Flysch Carpath., Geologica Carpathica 1999.50, 23–24.
- [17]. Feng, N., and Peng, G., Applications of Natural Zeolite to Construction and Building Materials in China, Construction and Building Materials 2005.19, 579–584.
- [18]. Najimi, M., Sobhani, J., Ahmadi, B., Shekarchi, M., An experimental study on durability properties of concrete containing zeolite as a highly reactive natural pozzolan, Construction and Building Materials, 2012.35, 1023–1033.
- [19]. Akman M.S., Deniz Yapılarında Beton Teknolojisi, İ.T.Ü. Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi, İstanbul, 1992.
- [20]. Mehta P.K., Monteiro P.J.M., Concrete Microstructure, Properties and Materials, Indian Edition, India, 1997.
- [21]. Yeğinoğlu A., Betonun Dayanıklılığı II, Kimyasal Etkenler, TCMB Çimento Araştırma Enstitüsü Seminer Notları, Ankara, 1999.
- [22]. Rattanachu, P., Tangchirapat, W. Ve Jaturapitakkul, C., Water Permeability and Sulfate Resistance of Eco-Friendly High-Strength Concrete Composed of Ground Bagasse Ash and Recycled Concrete Aggregate, J. Mater. Civ. Eng., 2019.31(6): 04019093.
- [23]. Hossain, K.M.A. ve Lachemi, M., Performance of volcanic ash and pumice based blended cement concrete in mixed sulfate environment, Cem. Concr. Res. 2006. 36, 1123–1133.

- [24]. Al-Akhras N.M., Durability of mekktakaolin concrete to sulfate attack. *Cement and Concrete Research*, 2006.36, 1727–1734.
- [25]. Mathis, RP., Freezing and thawing, deicing salt, and sulfate resistance of concrete pavers. Graduate Thesis, Southern Illinois University; 1991.231 p.
- [26]. Skalny, J., Marchand, J, ve Odler, I., Sulfate attack on concrete. USA and Canada: Spon Press; 2002.240 pp.
- [27]. Shaheen, F., Pradhan, B., Role of Chloride Ion and Cation Type Accompanied by Sulfate Ion on Durability Performance of Concrete in Conjoint Chloride–Sulfate Environment, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 2020. Volume 32, Issue 9.
- [28]. Hossain, K. M. A., Resistance of scoria-based blended cement concrete against deterioration and corrosion in mixed sulfate environment. *J. Mater. Civ. Eng.* 2009.21 (7): 299–308.
- [29]. Al-Amoudi, O. S. B. Sulfate attack and reinforcement corrosion in plain and blended cements exposed to sulfate environments. *Constr. Build. Mater.* 1998.33 (1): 53–61.
- [30]. Cohen, M.D., Bentur, A., Durability of portland cement-silica fume pastes in magnesium sulfate and sodium sulfate solutions. *ACI Mater. J.* 1988. 85 (3): 148–157.
- [31]. Al-Amoudi O.S.B., Sulfate attack and reinforcement corrosion in plain and blended cements exposed to sulfate environments. *Building and Environment*, 1997. 33, 53-61.
- [32]. Kılınç K., Uyan M., Beton karışım suyundaki sülfat tuzlarının çimento harcı özelliklerine etkisi. 5. Ulusal Beton Kongresi, Bildiriler Kitabı, İstanbul, 2003. s. 393-402.
- [33]. Neville, A., The confused world of sulfate attack on concrete. *Cement and Concrete Research*, 2004.34, 1275–1296.
- [34]. Nehdi, M., and Hayek, M., Behavior of blended cement mortars exposed to sulfate solutions cycling in relative humidity. *Cement and Concrete Research*, 2005.35, 731–742.
- [35]. Baradan, B., Yazıcı, H., Ün, H., Beton ve Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite), Türkiye Hazır Beton Birliği Yayınları, İstanbul, 2010.
- [36]. Yazıcı, H., Yüksek Fırın Cürufu Katkılı Harçların Sülfat Dayanıklılığının İncelenmesi, Deü Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 2006. Cilt: 8 sayı: 1 s. 51-58 Ocak.
- [37]. Nie, Q.K., Zhou, C.J., Li, H.W., Shu, X., Gong, H.R., Huang, B.S., Numerical simulation of fly ash concrete under sulfate attack, *Constr. Build. Mater.* 2015. 84, 261–268.
- [38]. Enstitüsü, T. S.. TS 802: Beton karışım tasarımı hesap esasları. Ankara: Türk Standardları Enstitüsü 2016.
- [39]. Baradan, B., Yazıcı H, Ün, H., Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite), D.E.Ü. Müh. Fak. Yayın No 298, İzmir, 2002.
- [40]. Lee, S.T., Moon, H.Y., Hooton, R.D. and Kim, J.P., Effect of Solution Concentrations and Replacement Levels of Metakaolin on The Resistance of Mortars Exposed To $MgSO_4$ Solutions. *Cement and Concrete Research*, 2005.35, 1314–1323.
- [41]. Lawrance C.D., The Influence of Binder Type on Sulfate Resistance. *Cement and Concrete Research*, 1992.22, 1047-1058.
- [42]. Bonen, D., A Microstructural Study of The Effect Produced by Magnesium Sulphate on Plain and Silica Fume Bearing Portland Cement Mortars. *Cement and Concrete Research*, 1993. 23, 541-553.
- [43]. Türker, F., Aköz, F., Koral, S., and Yüzer, N., Effects of Magnesium Sulfate Concentration on The Sulfate Resistance of Mortars With and Without Silica Fume. *Cement and Concrete Research*, 1997.27, 205-214.
- [44]. Biricik, H., Aköz, F., Türker, F. and Bertay, İ., Resistance to Magnesium Sulfate and Sodium Sulfate Attack of Mortars Containing Wheat Straw Ash. *Cement and Concrete Research*, 2000. 30, 1189-1197.
- [45]. Shi, J.A., Stegemann, Acid Corrosion Resistance of Different Cement-Ing Materials, *Cem. Concr. Res.* 30 803–808, 2000.
- [46]. Dikeou, JT., Fly Ash Increase Resistance of Concrete to Sulfate Attack. 1970. Research Report No. 23, United States Department of the Interior, Bureau of Reclamation, 17 p.

- [47]. Dunstan, ER., Sulfate Resistance of Fly Ash Concrete – The R-Value. In: Bryant and Katherine Mather symposium on concrete durability, SP100. American Concrete Institute; 1987. p. 2027–40.
- [48]. Dodson, V.H., Concrete Admixtures, Structural Engineering Series, Van Nostrand Reinhold, New York, 1990.
- [49]. Manu Santhanam, Menashi D. Cohen, Jan Olek, Mechanism of Sulfate Attack: A Fresh Look Part 2. Proposed Mechanism, Cement and Concrete Research, 2003.33, 341-346.
- [50]. Weiping, Ma, Brown, Paul W., Hydrothermal Reactions of Fly Ash with $\text{Ca}(\text{OH})_2$ and $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, Cement and Concrete Research, 1997.27, 1237-1248.
- [51]. Belie, N.D., Verselder, H.J., Blaere, B.D., Nieuwenburg, D.K., Verschoore, R., Influence of The Cement Type on The Resistance of Con-Crete to Feed Acids, Cem. Concr. Res. 1996. 26, 1717–1725.
- [52]. Chareerat, T., A study on pore volume and physical properties of ordinary portland cement containing classified fly ash, M.E. thesis, KhonKaen University, Thailand, 2002.p. 156.
- [53]. Cordeiro, G. C., Toledo Filho, R. D., Tavares, L. M., and Fairbairn, E. M. R. Pozzolanic activity and filler effect of sugar cane bagasse ash in portland cement and lime mortars. Cem. Concr. Compos. 2008. 30 (5): 410–418.
- [54]. Martirena Hernández, J. F., Middendorf, B., Gehrke, M. and Budelmann, H., o aio1998.
- [55]. Freeman, R.B., Carrasquillo, R.L., Effects of Intergrinding Fly Ash on the Sulfate Resistance of Fly Ash Concrete, Supplementary Papers of Fourth CANMET/ACI International Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, İstanbul, Turkey, 1992. 281-297.
- [56]. Rerkpiboon, A., Tangchirapat, W., and Jaturapitakkul., C., Strength, chloride resistance, and expansion of concretes containing ground bagasse ash. Constr. Build. Mater. 101 (Part 1): 2015. 983–989.
- [57]. Chindaprasirt, P., Homwuttiwong, S., Sirivivatnanon, V., Influence of Fly Ash Fineness on Strength, Drying Shrinkage and Sulfate Resistance of Blended Cement Mortar, Cement and Concrete Research, Vol. 34, 2004.,s. 1087-1092.
- [58]. B. Fournier, A. Bilodeau, N. Bouzoubaa, P.-C. Nkinamubanzi, Field and Laboratory Investigations on the Use of Fly Ash and Li-Based Admixtures to Prevent ASR in Concrete, Sixth International Conference on the Durability of Concrete Structures, 2018.18–20 July 2018, University of Leeds.
- [59]. ASTM C 618-05, 2005. Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete, ASTM (American Society for Testing and Materials), 3, Amerika.
- [60]. Shaikh FUA, Supit S, Sarker P. A study on the effect of nano silica on compressive strength of high volume fly ash mortar and concrete. Mater Des. 2014;60:433-442.
- [61]. Siddique R. Performance Characteristics of High-Volume Class F Fly Ash Concrete. Cem Concr Res. 2004. 34(3):487-93.
- [62]. Naik, T.R., Singh, S.S., Hossain, M.M. Permeability of concrete containing large amounts of fly ash. Cem Concr Res. 1994. 24(5):913-22.
- [63]. Supit, S, Shaikh, FUA. Durability Properties of High Volume Fly Ash Concrete Containing Nano Silica. Mater Struct. 2014. 48:2431-2445.
- [64]. Tkaczewska, E. And Małolepszy, J., Hydration of Coal–Biomass Fly Ash Cement, Construction and Building Materials, Volume 23, Issue 7, July 2009, Pages 2694-2700.
- [65]. Ş. Arel, H.Ş, Shaikh, F.U.A., Effects of Fly Ash Fineness, Nano Silica, and Curing Types on Mechanical and Durability Properties of Fly Ash Mortars, Structural Concrete Journal Of The Fib, 2017. Volume19, Issue2, April 2018, Pages 597-607.
- [66]. Chindaprasirta,P., Homwuttiwongb, S., Sirivivatnanon, V. Influence of fly ash fineness on strength, drying shrinkageand sulfate resistance of blended cement mortar, Cement and Concrete Research, 2004. 34, 1087–1092.
- [67]. Alnkaa, A.A., Farklı Kür Koşullarının Geopolimer Harç Özelliklerine Etkisi, Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Malzeme bilimi ve Mühendisliği Ana Bilim Dalı Doktora Tezi, Kastamonu, 2019.

- [68]. Balakrishnan, B. And Awal, A.S.M. Durability Properties of Concrete Containing High Volume Malaysian Fly Ash, IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology, 2014. eISSN: 2319-1163 | pISSN:2321-7308, Volume: 03 Issue: 04.
- [69]. Binici, H., Eken, M., Dinçer, A. Silis Dumanı, Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Cürufu Katkılı Betonların Bazı Durabilite Özellikleri, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 2013. 28(1), 11-20 ss.
- [70]. Kanthe, V.N. Effect of Superplasticizer on Strength and Durability of Rice Husk Ash Concrete, Iranian (Iranica) Journal of Energy and Environment, 2021. 12(3): 204-208.
- [71]. Corral-Higuera, R., Arredondo-Rea, S.P., Neri-Flores, M.A., Gómez-Soberón, J.M., Almeraya Calderón, F., Castorena-González, J.H., Almaral-Sánchez, J.L. Sulfate Attack and Reinforcement Corrosion in Concrete with Recycled Concrete Aggregates and Supplementary Cementing Materials, Int. J. Electrochem. Sci., 2011 6, 613 – 621.
- [72]. Aydin, E., Balkis , A.P. Preliminary Study on the Durability Properties of High-Volume Fly Ash Mortar Composites, Journal of Testing and Evaluation, 2017. Vol. 45 / No. 6 .
- [73]. Rao, M.K., and Kumar, Ch.S.N. Influence of Fly Ash on Hydration Compounds of High-Volume Fly Ash Concrete, AIMS Materials Science, 2021. 8(2): 301–320.
- [74]. Saha, A.K. Effect of Class F Fly Ash on The Durability Properties of Concrete. Sustainable Environ Res, 2018, 28: 25–31.
- [75]. Liu, K., Deng, M and Mo, L. Effect of Fly Ash on Resistance to Sulfate Attack of Cement-based Materials, Key Engineering Materials , (2013). Vol. 539, 124-129.
- [76]. Wang, A., Zhang, C., Sun, W. Fly ash effects: I. The Morphological Effect of Fly Ash. Cement Concrete Res, 2003. 33: 2023–2029. 2003.

UÇUCU KÜL ESASLI HAFİF GEOPOLİMER HARÇLARIN BASINÇ VE RÖTRE SONUÇLARININ İSTATİSTİKSEL ANALİZİ VE MODELLENMESİ

Şevin EKME^{1*}, Kasım MERMERDAŞ², Zeynep ALGIN³

^{1,2,3} Harran Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa/Türkiye

Geliş Tarihi/Received Date: 05.01.2022 Kabul Tarihi/Accepted Date: 07.06.2022 DOI: 10.54365/adyumbd.1053825

ÖZET

Çimento, yapı malzemesi üretiminde bağlayıcı malzeme olarak oldukça yüksek oranlarda kullanılmaktadır. Doğal kaynak tüketimi ve atmosfere salınan CO₂ miktarı göz önüne alındığında, çimento kullanım oranının düşürülmesi amacıyla alternatif bağlayıcı malzeme arayışı ile geopolimer kompozit üretimi gerçekleştirilmiştir. Atık malzemeler ile uygun kimyasal malzemelerin bir araya getirilmesi sonucu oluşan geopolimer, sunduğu birçok avantaj nedeniyle malzeme alanı için oldukça umut vericidir. Bu çalışmada, hafif geopolimer harçların mekanik özelliğini yansıtan basınç dayanım testi ile şekil değiştirme durumunu yansıtan rötre testi sonucunda elde edilen verilerin istatistiksel analiz ve modelleme işlemleri genetik ekspresyon programlama (GEP) ve çoklu doğrusal regresyon (ÇDR) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Hafif geopolimer harçların basınç dayanımı ve rötre değerlerine ulaşılması amacıyla sodyum hidroksit molaritesi, alkali/uçucu kül oranı, sodyum silikat/sodyum hidroksit oranı ve yaş girdi parametreleri dikkate alınarak oluşturulan GEP modelleri ile laboratuvar verilerine oldukça yakın sonuçlar elde edilmiştir. Basınç dayanımı ve rötre parametreleri için hedef değerler ile tahmin değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren korelasyon katsayıları sırasıyla 0.94 ve 0.97 olarak elde edilmiş olup, diğer istatistiksel değerlendirmeler sayesinde de oluşturulan modelin uygunluğu desteklenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hafif Geopolimer; Basınç Dayanımı; Rötre; İstatistiksel Analiz; Modelleme

STATISTICAL ANALYSIS AND MODELING OF COMPRESSION AND SHRINKAGE RESULTS OF FLY ASH BASED LIGHTWEIGHT GEOPOLYMER MORTARS

ABSTRACT

Cement is used at very high rates as a binding material in the production of building materials. Considering the consumption of natural resources and the amount of CO₂ released into the atmosphere, geopolymer composite production was realized with the search for alternative binding materials in order to reduce the cement usage rate. The geopolymer, which is formed as a result of combining waste materials and suitable chemical materials, is very promising for the material field due to its many advantages. In this study, statistical analysis and modeling of the obtained data as a result of the compressive strength test reflecting the mechanical properties of lightweight geopolymer mortars and the shrinkage test reflecting the strain state were performed using genetic expression programming (GEP) and multiple linear regression (MLR). In order to reach the compressive strength and shrinkage values of lightweight geopolymer mortars, results very close to the laboratory data were obtained with the created GEP models by taking into account the input parameters of sodium hydroxide molarity, alkali/fly ash ratio, sodium silicate/sodium hydroxide ratio and age. Correlation coefficients showing the relationship between target values and predicted values for compressive strength and shrinkage parameters were obtained as 0.94 and 0.97, respectively, and the suitability of the created model was supported by other statistical evaluations.

Keywords: Lightweight Geopolymer; Compressive Strength; Shrinkage; Statistical Analysis; Modeling

*1e-posta: ekmensevin@harran.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2577-696X> (Sorumlu Yazar)

²e-posta: kasim.mermerdas@harran.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1274-6016>

³e-posta: zyilmaz@harran.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7004-8403>

1. Giriş

Çimento üretimi sırasında sera gazı emisyonu yıllık bazda yaklaşık 1.6 milyar tondur [1]. Bu tehlikeli sera gazları biyoçeşitliliği ve çevreyi büyük ölçüde etkileyebilmektedir [2]. Bu nedenlerle, çimento kullanımına gereksinim duyulmadan üretilebilen geopolimer yapı malzemeleri ile ilgili çalışmalar son yıllarda oldukça önem kazanmıştır.

Yapı malzemelerinin istenilen özelliklerinin belirlenmesi için genellikle fiziksel testler yapılmaktadır. Belirlenen tasarım oranları kullanılarak karışımlar kalıplara yerleştirildikten sonra numuneler belirli kütleme süreleri sonrasında testlere tabi tutulmaktadır. Bu teknik, laboratuvar ve sahada yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak test etmek fazla zaman alması ve ekonomik olmamasının yanısıra daha az verimli olabilmektedir. Geleneksel deneysel tekniklerin aksine betonun mühendislik özelliklerini değerlendirmek için ampirik regresyon yaklaşımları tercih edilebilmektedir. Yapay zekanın son gelişimi ile, istenilen parametreleri tahmin etmek için makine öğrenimi (ML) yöntemlerini kullanmak uygundur. ML yaklaşımı; kümeleme, sınıflandırma ve regresyon gibi çeşitli amaçlar için kullanılabilir [3].

Genetik ekspresyon programlama (GEP) ve çoklu doğrusal regresyon (ÇDR) modeli bilim ve mühendislik problemlerini çözmek için kolaylık sağlamaktadır. ÇDR modeli regresyon modelini genişleterek, sayısal bağımlı değişken ile iki veya daha fazla bağımsız değişken arasındaki ilişkinin kurulmasına olanak sağlar. Bu model meydana gelmenin yapılandırılmış olasılığının, tahmin edilen bağımsız değişken verilerinin doğrusal bir fonksiyonu olduğunu gösterir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen veriler regresyon analizi ile fonksiyonel olarak ifade edilmektedir [4-5]. Koza [6] tarafından önerilen genetik algoritmanın bir uzantısı olan GEP son zamanlarda birçok inşaat mühendisliği uygulamasında kullanılmaktadır. GEP, doğrusal veya doğrusal olmayan denklemler aracılığıyla, çıktı parametresi ile bağımsız girdi parametresi arasındaki ilişkiyi çözmek için biyolojik evrimden ilham alan evrimsel algoritma tabanlı bir metodolojidir. Tüm evrimsel algoritmalarda olduğu gibi mutasyon ve çaprazlama kullanılan ana operatörlerdir. Literatürde geopolimer beton özelliklerinin modellenmesi amacıyla çeşitli kabul gören yöntemler kullanılarak gerçekleştirilen çalışmalara yer verilmiştir [7-14]. Khan ve ark. [15] uçucu kül esaslı geopolimer betonun basınç dayanımı değerlerinin belirlenmesi ve değerlendirilmesi için farklı yapay zeka yöntemlerini kullanmışlardır. Elde edilen sonuçlar genel olarak GEP tahmin modelinin gelecekte kullanım için basit ve kolay bir matematiksel denklem sağlaması nedeniyle ideal olduğunu ve oluşturulan modelin geopolimer betonun dayanım tahmini için kullanılan değişkenlerin etkisini doğru bir şekilde kapsadığını göstermiştir. Böylece önerilen GEP denkleminin ön tasarımda kullanılabilmesi belirtilmiştir. Nazari [16] alüminosilikat kaynağı olarak sıradan Portland çimentosu kullanılarak üretilen geopolimerlerin basınç dayanımı sonuçlarını GEP ile modellemiştir. Tasarım için her biri dört seviyede NaOH konsantrasyonu, $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ ağırlık oranı, alkali aktivatör/çimento ağırlık oranı, kütleme sıcaklığı, kütleme süresi ve su kür rejimi olmak üzere altı ana faktör göz önünde bulundurulmuştur. Sonuçlar GEP modelinin dikkate alınan aralıktaki geopolimerlerin basınç dayanımını tahmin etmek için güçlü bir araç olduğunu göstermektedir. Shahmansouri ve ark. [17] yüksek fırın cürufu (YFC) esaslı geopolimer betonun basınç dayanımını tahmin etmek amacıyla GEP kullanarak matematiksel modeller geliştirmişlerdir. Deneysel sonuçlar kullanılarak YFC tabanlı geopolimer beton için kapsamlı ve güvenilir bir basınç dayanımı veritabanı elde edilmiştir. Bu veritabanı 117 farklı karışımdan üretilen 351 numunenin basınç dayanımı sonuçlarını içermektedir. En etkili beş parametre olan numunelerin yaşı, NaOH çözeltisi konsantrasyonu, doğal zeolit miktarı, silis dumana miktarı ve geopolimer betonun YFC içeriği modelleme için girdi parametreleri olarak kabul edilmiştir. Sonuçlar, önerilen modellerin doğru olduğunu ve yüksek tahmin kabiliyetine sahip olduğunu göstermiştir. Fakhrian ve ark. [18] yüksek sıcaklıklara maruz kalan geri dönüştürülmüş beton agregası içeren geopolimer harcın (GH) basınç dayanımını ve kütle kaybını tahmin etmek için GEP kullanarak 20 model geliştirmişlerdir. Sırasıyla, 0.95 ile 0.99 korelasyon katsayılarına sahip eğitim ve doğrulama aşamaları sayesinde modellerin öngördüğü sonuçlar ile deneysel sonuçlar arasında tutarlılık olduğu görülmüştür. GEP'in yüksek

sıcaklıklar altında geri dönüştürülmüş beton agregası içeren GH'ların hem basınç dayanımını hem de kütle kaybını tahmin etme kabiliyeti belirlenmiştir. Chu ve ark. [19] uçucu kül içeren geopolimer betonların basınç dayanımlarını GEP ve ÇDR yöntemleri ile tahmin etmişlerdir. GEP modeli ile ulaşılan sonuçların daha düşük istatistiksel hataya ve daha yüksek korelasyon katsayısına sahip olduğu sonucuna varmışlardır. Su ve ark. [20] yüksek fırın cürufu ve metakaolin içeren geopolimer hamur karışımlarının basınç dayanımını istatistiksel olarak incelemişlerdir. Oluşturulan ÇDR modelleri sayesinde basınç dayanım tahminleri gerçekleştirilmiştir. Diğer algoritmalar ile kıyaslandığında ÇDR modellerinin çok daha şeffaf ve kolay kullanıma sahip olduğu belirtilmiştir.

Bu çalışma GEP ve ÇDR tekniklerine dayalı olarak geliştirilerek hafif geopolimer harçların dayanım sonuçlarının yanısıra rötre özelliklerini tahmin eden modeller sunmaktadır. Ayrıca belirlenen istatistiksel parametreler ile kullanılan modelleme yöntemlerinin performans değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Bu modellerin hafif geopolimerlerin kullanımını içeren saha uygulamalarına uyması beklenmektedir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

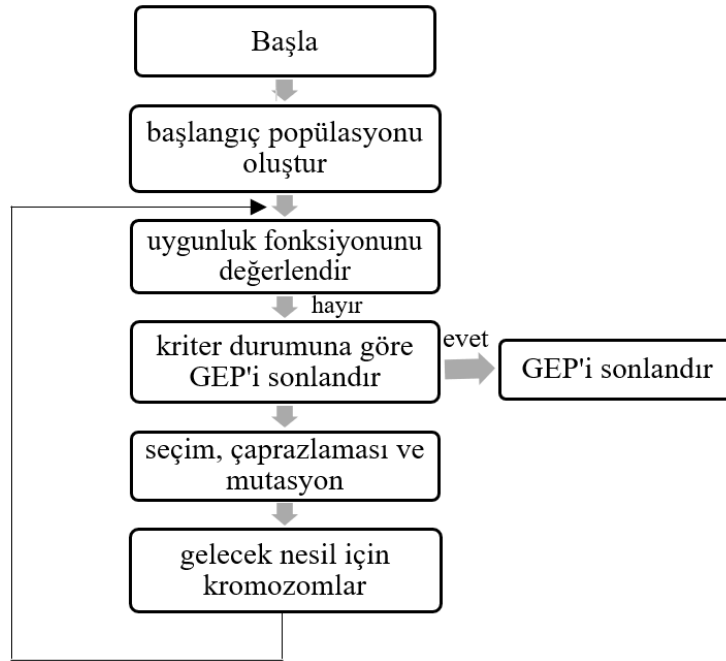
Bu çalışmada kullanılan malzemeler, F sınıfı uçucu kül, sodyum hidroksit (SH) çözeltisi, sodyum silikat (SS) çözeltisi, pomza agregası, nehir kumu ve süper akışkanlaştırıcıdır. Hafif geopolimer harç karışımları için SS/SH oranları 2.5, 2 ve 1.5 olarak SH konsantrasyonları ise 10 M, 12 M ve 14 M olarak belirlenmiştir. Ayrıca, alkali çözelti ve uçucu kül miktarlarındaki değişimin hafif geopolimer harçların incelenen özellikleri üzerindeki etkisini araştırmak için 0.45 ve 0.55 olmak üzere iki farklı alkali/uçucu kül (A/UK) oranı kullanılmıştır. Üretilen hafif geopolimer harç numuneleri için belirlenen karışım tasarımına Ekmen [21] tarafından yürütülen çalışmada detaylı bir şekilde yer verilmiştir.

2.2. Metot

İstatistiksel analiz, veri kümeleri veya sonuçları arasındaki olasılıkları bulmak için kullanılan nicel bir yöntemdir ve bir konunun araştırılmasında bulunan eğilimlerin veya kalıpların detaylandırılmasına yardımcı olmaktadır.

Çoklu doğrusal regresyon (ÇDR), kullanılan en yaygın modelleme yöntemlerinden biridir. Bu yöntem ile birden fazla bağımsız değişken varlığında istenilen çıktı parametresi tahmin edilebilmektedir. ÇDR; verilerin korelasyonunu ve yönlülüğünü analiz etme, modeli tahmin etme, modelin geçerliliğini ve kullanılabilirliğini değerlendirme olmak üzere üç aşamadan oluşur. İstatistiksel anlamlılığı temsil eden p değerinin 0.05'ten küçük olması halinde kullanılan değişkenlerin modelin oluşturulmasında yer alması uygun bulunmaktadır.

Geleneksel yöntemler ile çözümü uzun zaman alan karışık problemlerin daha kısa sürede sonuçlandırılması amacıyla farklı yöntemlere başvurulmuştur. Genetik algoritma (GA) yöntemi kısa sürede kabul edilebilir sonuçlar sunan ve gelişim mekanizmasını referans alan bir yöntemdir. Genetik algoritmalar; mutasyon, çaprazlama ve seçim gibi biyolojik olayları ilham alan operatörlere güvenerek problemleri optimize etmek ve yüksek kaliteli çözümler üretmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Genetik algoritmanın nasıl çalıştığı şu şekilde özetlenebilmektedir: Algoritma rastgele bir ilk popülasyon oluşturarak başlar, daha sonra bir dizi yeni popülasyon oluşturur ve her adımda algoritma bir sonraki popülasyonu oluşturmak için mevcut nesildeki bireyleri kullanır. GEP ile istenilen alanda ulaşılan veriler ve tahmin modelleri kullanılarak farklı çözümler elde edilebilmektedir. GEP model oluşumu için akış şeması Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. GEP model oluşumu için akış şeması

Modelin etkinliğinin ve verimliliğinin ölçümü için R olarak temsil edilen korelasyon katsayısı yaygın olarak kullanılmaktadır. R'nin, çıktıların temel aritmetiğine (bölme ve çarpma) duyarsızlığı nedeniyle, modelin doğruluğu için tek başına kullanımı yerine bu çalışmada aynı zamanda diğer istatistiksel ölçüler de dikkate alınmıştır. MSE; ortalama kare hata, RMSE; kök ortalama kare hata ve MAPE; ortalama mutlak yüzde hata anlamına gelmektedir. Belirtilen hata fonksiyonları için ifadeler Denklem (1-3) olarak sunulmuştur.

$$MSE : \frac{\sum_{i=1}^n (d_i - m_i)^2}{n} \quad (1)$$

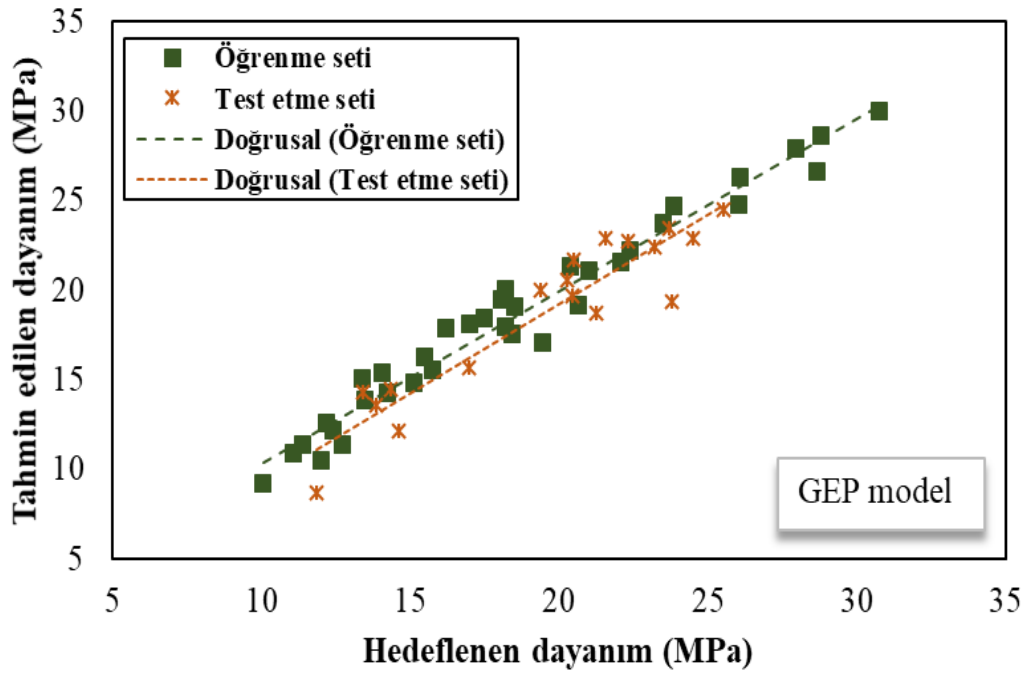
$$RMSE : \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_i - m_i)^2}{n}} \quad (2)$$

$$MAPE : \frac{100\% * \sum_{i=1}^n \left| \frac{d_i - m_i}{d_i} \right|}{n} \quad (3)$$

3. Araştırma Bulguları ve Tartışma

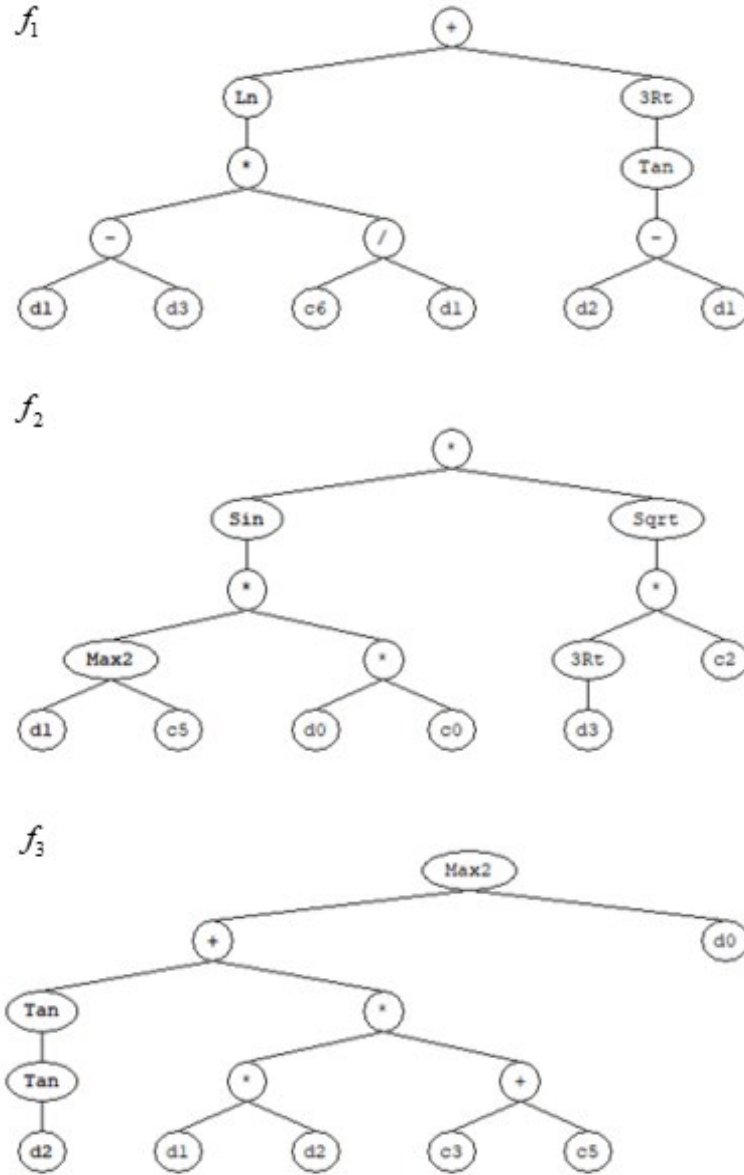
3.1. Basınç dayanım sonuçlarının değerlendirilmesi

Üretilen hafif geopolimer harçlar için fiziksel test ile elde edilen basınç dayanım değerleri 11.41 MPa ile 30.74 MPa arasında değişmektedir. Dayanım sonuçlarına Ekmen [21] çalışmasında detaylı bir şekilde yer vermiştir. Bu kısımda, laboratuvar testi sonucunda ulaşılan dayanım sonuçları ile GEP kullanılarak elde edilen dayanım değerleri karşılaştırılarak irdelenmiştir. GEP modeli oluşturulurken ilk olarak tüm laboratuvar sonuçları programa girilmiştir. Program tarafından bu sonuçlar öğrenme ve test seti olarak 2'ye ayrıldıktan sonra en yüksek R ve RMSE değerlerini veren fonksiyon seçilerek model oluşumu tamamlanmıştır. Şekil 2'de GEP kullanılarak tahmin edilen dayanım değerleri ile hedeflenen dayanımlar arasındaki ilişki verilmiştir. Öğrenme veri seti ile ilk olarak algoritma oluşturulması sağlandıktan sonra test veri seti ile modellemenin uygunluğu test edilmiştir. Şekil 2'de hem öğrenme seti için kullanılan veriler hem de test seti için kullanılan değerler sunulmuştur. Öğrenme aşaması için 36 veri kullanılırken test aşamasında 18 veri kullanılmıştır. Her iki set için de tahmin edilen değerlerin deneysel çalışmadan elde edilen verilerle oldukça uyumlu olduğu görülmüştür. Nazari [16] tarafından yapılan çalışmada da GEP modelinin geopolimerlerin basınç dayanım değerlerini tahmin etmede oldukça iyi sonuçlar verdiği belirtilmiştir.



Şekil 2. GEP modeli ile tahmin edilen dayanım değerleri ile hedeflenen değerler arasındaki ilişki

Çeşitli sodyum hidroksit molariteleri, alkali/uçucu kül oranları, sodyum silikat/sodyum hidroksit oranları ve farklı yaşları içeren girdiler dikkate alınarak oluşturulan GEP modeli ile basınç dayanımları tahmin edilmiştir. Oluşturulan modeli temsil eden ağaç gösterimi Şekil 3'te, nihai sonuç ise Denklem (8)'de (Denklem (4-7)'de verilen denklemlerin toplamı) verilmiştir. Oluşturulan ağaç gösterimi sayesinde ulaşılan denklemi oluşturan parametreler arasındaki bağlantılar adım adım sunulabilmektedir.



Şekil 3. Oluşturulan GEP modelinin ağaç gösterimi

Modeli temsil eden eşitliklerde d_0 ; molariteyi, d_1 ; A/UK oranını, d_2 ; SS/SH oranını, d_3 ; yaş parametresini temsil etmektedir. Denklem (8) için elde edilen korelasyon katsayısı 0.937 olarak bulunmuştur. Elde edilen bu değer 1'e oldukça yakın olması kullanılan model ile ulaşılan verilerin mevcut değerlerin etrafında kümelendiğini göstermektedir.

$$f_1 = \ln \left[\frac{-4.106 \times (d_1 - d_3)}{d_1} \right] + \sqrt[3]{A} \quad (4)$$

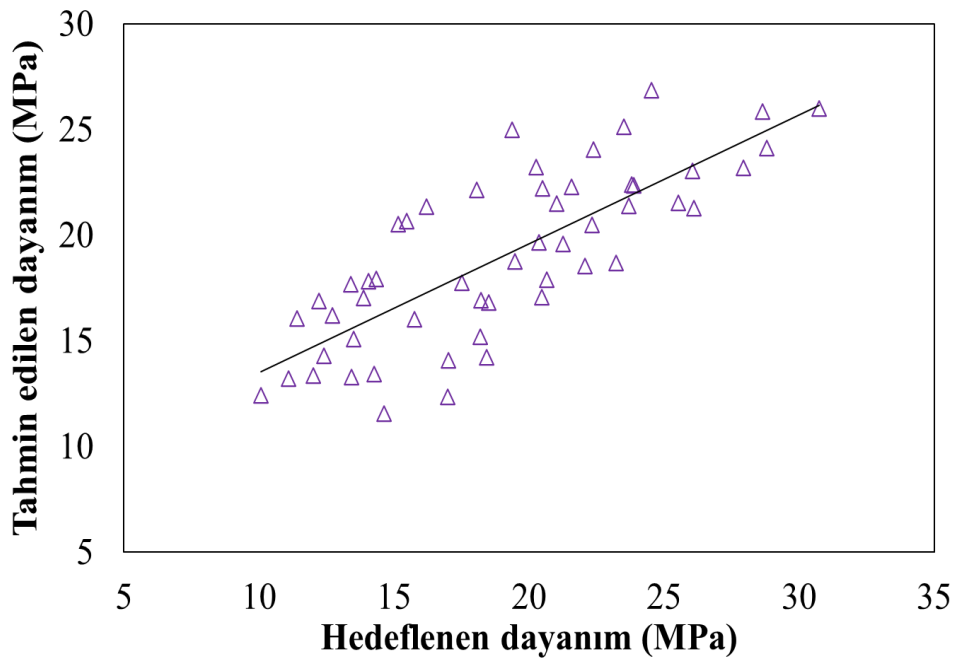
$$f_1' = \ln \left[\frac{-4.106 \times (d_1 - d_3)}{d_1} \right] - \sqrt[3]{-A} \quad (5)$$

$$f_2 = \sin \left[3.613 \times d_0 \times \max(d_1; 0.453) \right] \times \sqrt{7.341 \times \sqrt[3]{A}} \quad (6)$$

$$f_3 = \max \left[\tan(\tan d_2) + 11.908 \times d_1 \times d_2; d_0 \right] \quad (7)$$

$$f_{c(GEP)} = \left\{ \begin{array}{ll} f_1 + f_2 + f_3 & A \geq 0 \\ f_1' + f_2 + f_3 & A < 0 \end{array} \right\} \quad (8)$$

ÇDR sayesinde laboratuvar çalışması ile elde edilen basınç dayanım değerlerinin kullanılması sonucunda GEP ile oluşturulan modelden farklı bir model oluşturulmuştur. Laboratuvar çalışması sonucunda elde edilen değerler minitap programının veri tabanına girildikten sonra çoklu doğrusal denklem oluşturulması hedeflenerek en yüksek R değerini veren fonksiyona ulaşılmıştır. Bu kapsamda hedeflenen dayanım değerleri ile tahmin edilen değerler arasındaki lineer ilişki Şekil 4'te gösterilmiştir.

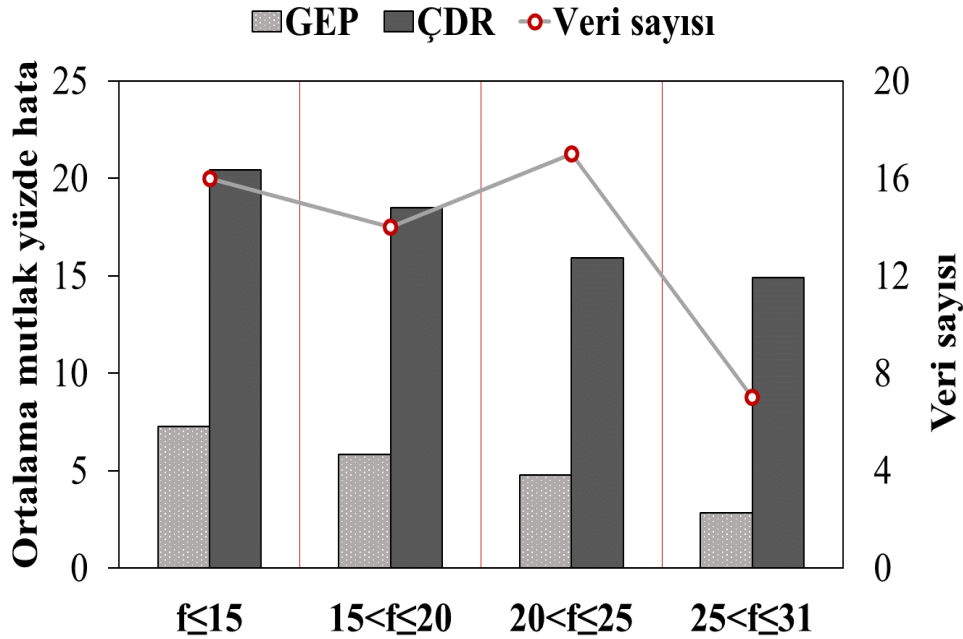


Şekil 4. ÇDR modeli ile tahmin edilen dayanım değerleri ile hedeflenen değerler arasındaki ilişki

ÇDR ile oluşturulan tahmin modelini temsil eden eşitlik, Denklem (9)'da sunulmuştur. Girdi parametreleri olan d_0 , d_1 , d_2 ve d_3 sırasıyla SH molaritesini, A/UK oranını, SS/SH oranını ve yaş değişimini göstermektedir. Oluşturulan tahmin modelini temsil eden denklem için elde edilen korelasyon katsayısı 0.787 olarak bulunmuştur.

$$f_{c(\text{ÇDR})} = 34.98 + 0.434 \times d_0 - 10.13 \times d_1 - 8.94 \times d_2 + 0.135 \times d_3 \quad (9)$$

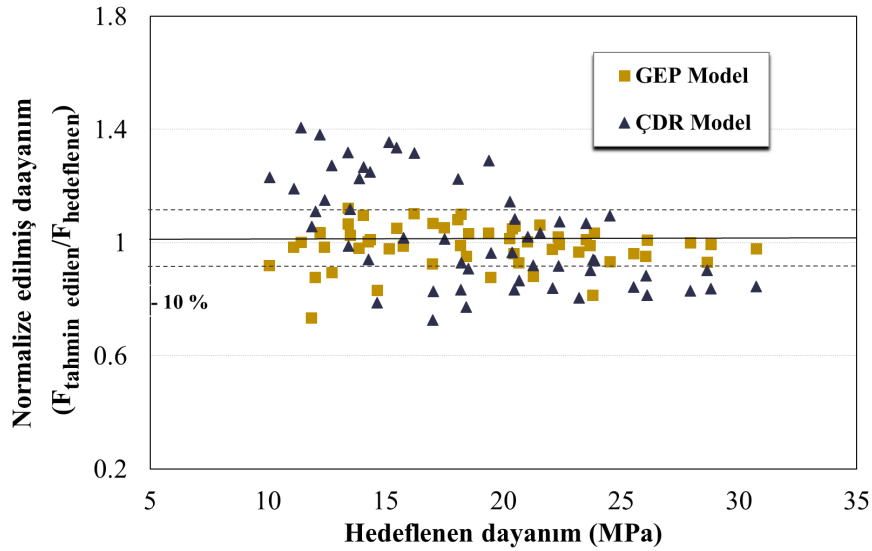
Şekil 5'te de görüldüğü gibi hem GEP hem de ÇDR modeli kullanılarak ulaşılan bu dayanım değerleri kategorilere ayrılarak, her bir kategoride bulunan veri sayısını dikkate alacak şekilde ortalama mutlak yüzde hata değerleri sunulmuştur. Değerler; 15 MPa'dan küçük, 15 MPa ile 20 MPa, 20 MPa ile 25 MPa ve 25 MPa ile 31 MPa arasında olacak şekilde 4 farklı kategoriye ayrılmıştır. Bu kategoride bulunan veri sayıları sırasıyla 16, 14, 17 ve 7 olmuştur. ÇDR analizi yardımı ile ulaşılan hata yüzdelerinin GEP kullanılarak ulaşılan hata yüzdelerinden daha yüksek olması ÇDR ile elde edilen verilerin hedeflenen verilere yakınlığının ve uygunluğunun daha düşük olduğunu göstermiştir. En yüksek hata 15 MPa'dan küçük dayanım değerleri için elde edilirken en düşük hata oranları 25 MPa ile 31 MPa arasında bulunan dayanım değerleri için elde edilmiştir. Ortalama mutlak yüzde hatalarının kabul edilebilir bir düzeyde olması, oluşturulan model sayesinde ulaşılan verilerin hedeflenen değerlere yakınlığının ve dolayısıyla oluşturulan modelin uygunluğunun göstergesidir.



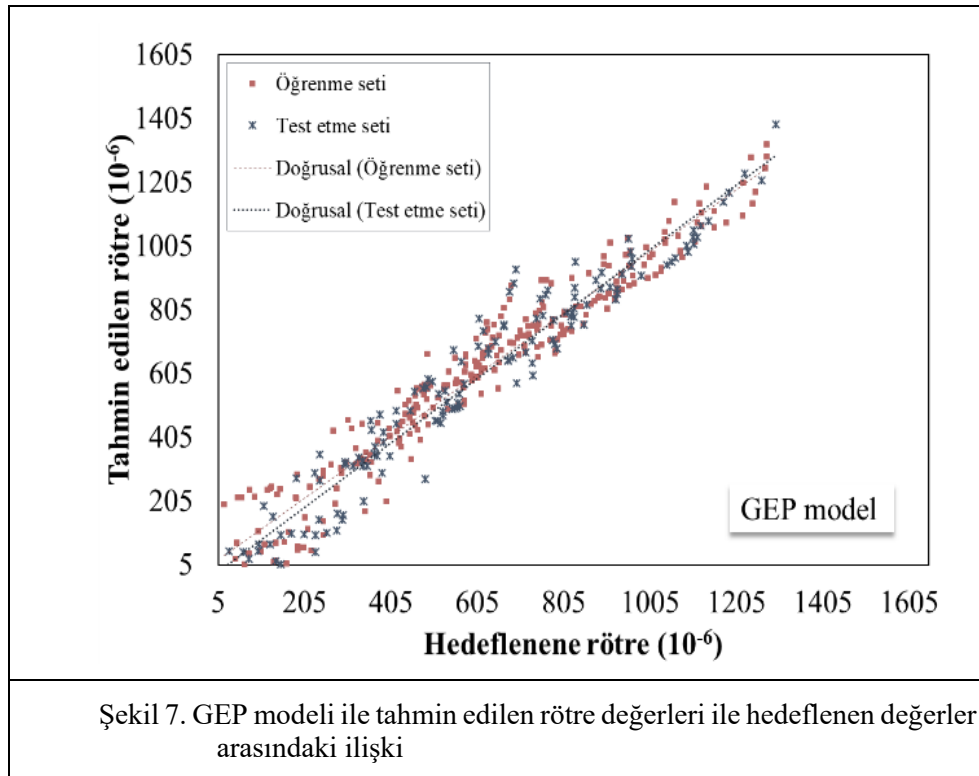
Şekil 5. GEP ve ÇDR modelleri kullanılarak elde edilen dayanım değerleri için ortalama yüzde hata sonuçları

Şekil 6'da hem GEP hem de ÇDR modeli için hedeflenen dayanımlara karşılık gelen normalize edilmiş dayanım değerleri sunulmuştur. Normalize edilmiş dayanım değerleri tahmin edilen dayanım değerlerinin hedeflenen dayanım değerlerine bölünmesi ile elde edilmiştir. Bu oranın 1'e yakınlığı oluşturulan modellerin doğruluğunun göstergesi olarak düşünülebilmektedir. Şekil 6'da görüldüğü gibi

ÇDR ile oluşturulan model yardımı ile elde edilen dayanım sonuçları GEP ile elde edilen verilerden daha uyumsuz sonuçlar sunmuştur. Bu durum, 0.937 korelasyon katsayısına sahip GEP modelinin 0.787 korelasyon katsayısına sahip ÇDR'den daha iyi tahminler yaptığını doğrulamaktadır.



Şekil 6. GEP ve ÇDR modelleri için normalize edilmiş dayanım değerleri



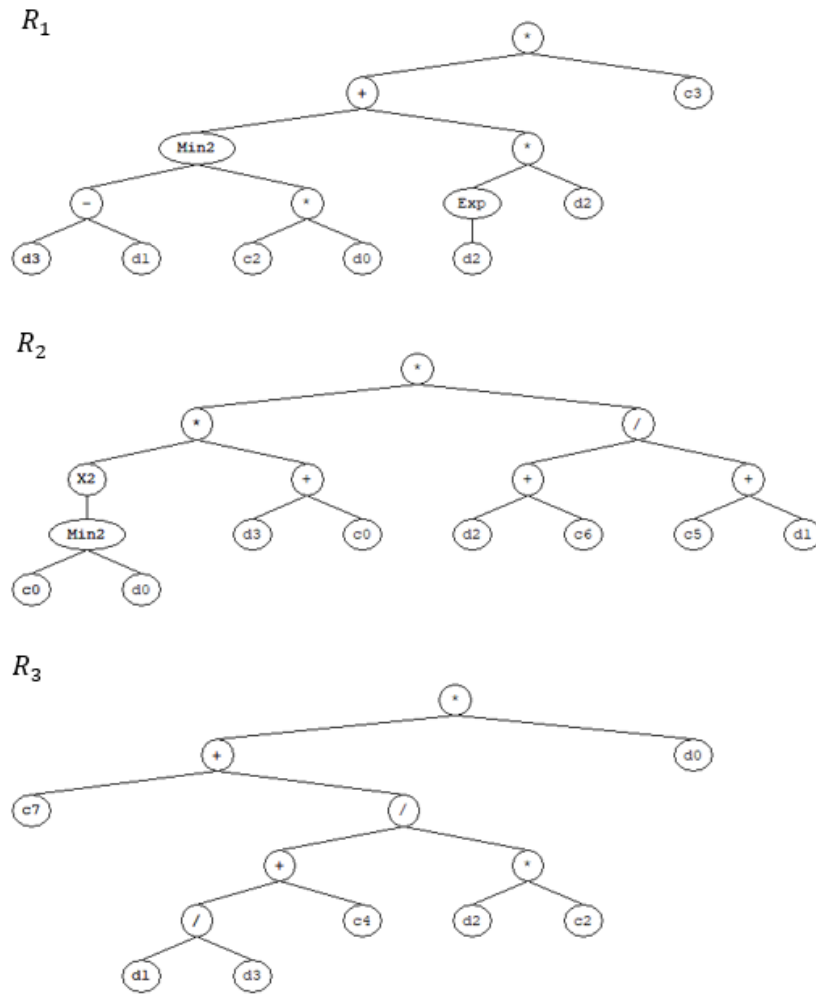
Şekil 7. GEP modeli ile tahmin edilen rötre değerleri ile hedeflenen değerler arasındaki ilişki

3.2. Rötre sonuçlarının değerlendirilmesi

Üretilen hafif geopolimer harcın şekil değiştirme özelliğini yansıtması sebebiyle rötre değerlerinin irdelenmesi oldukça önemlidir. Ekmen [21] çalışmasında ulaşılan rötre sonuçlarına detaylı

bir şekilde yer vermiştir. Bu kısımda rötire sonuçları istatistiksel olarak değerlendirilmiş ve modellenmiştir. Şekil 7’de, GEP kullanılarak oluşturulan model sayesinde elde edilen tahmin değerleri ile mevcut rötire değerleri sunulmuştur. SH molaritesi, SS/SH oranı, A/UK oranı ve yaş parametreleri dikkate alınarak hazırlanan hafif geopolimer harç numuneleri için laboratuvar ortamında gerçekleştirilen ölçümler sonucunda elde edilen rötire değerleri 20 ile 1296.43 mikro uzama arasında değişmiştir. Uygun model oluşturulurken ilk olarak 288 adet rötire verisi kullanılarak öğrenme seti oluşturulmuş daha sonra 144 adet veri ile test etme aşaması gerçekleştirilmiştir. Şekil 7 tahmin edilen ve hedeflenen değerler arasındaki ilişkiyi oluşturulan modelin uygunluğunu göstermektedir.

Şekil 8’de, GEP ile oluşturulan modele ait denklemlerin arasındaki bağlantıların oluşma sırasını veren ağaç gösterimi verilmiştir. Nihai eşitlik ise, Denklem (10-12)’de verilen denklemlerin toplamından oluşan Denklem (13)’te verilmiştir.



Şekil 8. Oluşturulan GEP modelinin ağaç gösterimi

Elde edilen eşitliklerde belirtilen d_0 , d_1 , d_2 ve d_3 sırasıyla yaş, SH molaritesi, SS/SH oranı ve A/UK oranı parametrelerini temsil etmektedir. Modeli temsil eden Denklem (13) için korelasyon katsayısı 0.97 olarak bulunmuştur.

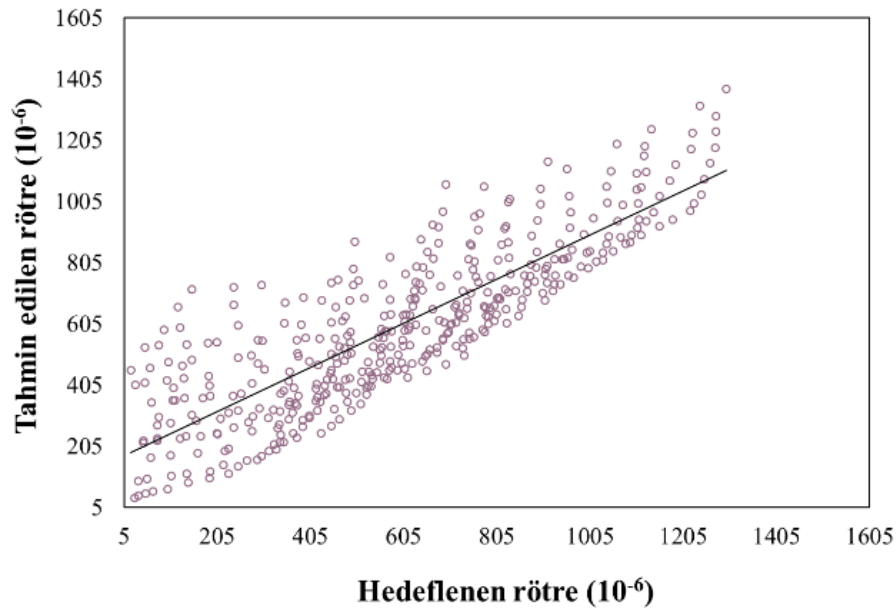
$$R_1 = ([\min[(d_3 - d_1); (-0.349 \times d_0)] + (d_2 \times e^{d_2})] \times 10.687) \quad (10)$$

$$R_2 = ([\min[8.804; d_0]^2 \times (8.804 + d_3)] \times [\frac{(4.53 + d_2)}{-1.257 + d_1}]) \quad (11)$$

$$R_3 = ([10.612 + \frac{(\frac{d_1}{d_3} - 12.332)}{-1.495 \times d_2}] \times d_0) \quad (12)$$

$$R_{(GEP)} = R_1 + R_2 + R_3 \quad (13)$$

Elde edilen veriler için aynı zamanda ÇDR kullanılarak da tahmin modeli oluşturulmuş ve hedeflenen rötre değerleri ile tahmin edilen rötre değerleri arasındaki ilişki Şekil 9'da sunulmuştur.



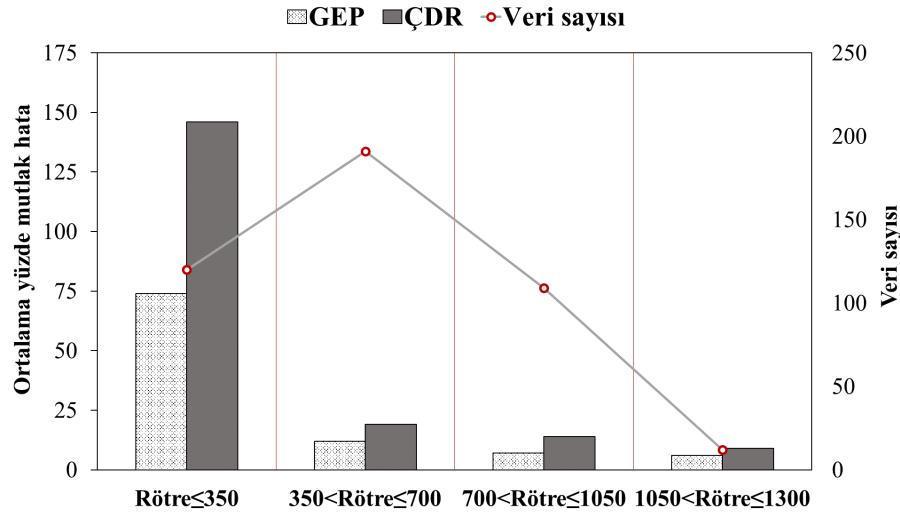
Şekil 9. ÇDR modeli ile tahmin edilen rötre değerleri ile hedeflenen değerler arasındaki ilişki

ÇDR ile oluşturulan tahmin modelini temsil eden eşitlik, Denklem (14)'te sunulmuştur. Girdi parametreleri olan d_0 , d_1 , d_2 ve d_3 sırasıyla yaş, SH molarite değeri, SS/SH oranı ve A/UK oranı

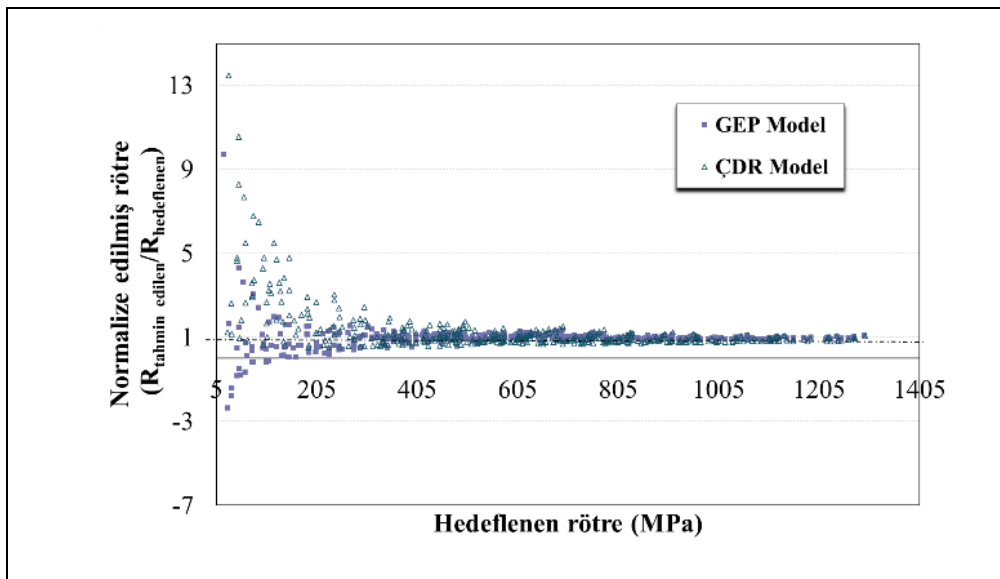
değişimini göstermektedir. Oluşturulan tahmin modelini temsil eden denklem için elde edilen korelasyon katsayısı 0.849 olarak bulunmuştur.

$$R_{(\text{ÇDR})} = 152 + 7.378 \times d_0 - 65.92 \times d_1 + 361.3 \times d_2 + 530 \times d_3 \quad (14)$$

Şekil 10'da, kategorilere ayrılan rötre değerleri için kullanılan veri sayıları ve elde edilen ortalama yüzde mutlak hata oranları gösterilmiştir. Mikro uzaması 350 'den küçük, 350 ile 700 arasında, 700 ile 1050 arasında ve 1050 ile 1300 arasında olacak şekilde oluşturulan 4 farklı kategoride bulunan veri sayıları sırasıyla 100, 165, 129 ve 38 olmuştur. Şekil 10'da görüldüğü üzere ÇDR modeli ile elde edilen veriler için ortalama yüzde mutlak hata değerleri GEP modeli ile elde edilen sonuçlardan daha yüksek olmuştur. Bu durum GEP modelinin daha uygun olduğunun göstergesidir. Aynı zamanda artan rötre değerleri ile ulaşılan ortalama yüzde hatalarının da düştüğü görülmektedir.



Şekil 10. GEP ve ÇDR modelleri kullanılarak elde edilen dayanım değerleri için ortalama yüzde hata sonuçları



Şekil 21. GEP ve ÇDR modelleri için normalize edilmiş dayanım değerleri

Şekil 11’de hem GEP hem de ÇDR modeli için hedeflenen rötre değerlerine karşılık gelen normalize edilmiş rötre değerleri sunulmuştur. Tahmin edilen rötre değerlerinin hedeflenen rötre değerlerine bölünmesi ile elde edilen normalize rötrelerin 1’e yakınlığı oluşturulan modelin uygunluğunu göstermektedir. Şekil 11’de ÇDR modeli ile oluşturulan ve mikro uzaması 350 ‘den küçük rötre değerleri için normalize edilmiş rötre sonuçlarında görülen bariz sapma aynı zamanda Şekil 10’da da görülmektedir.

Çizelge 1’de dayanım ve rötre sonuçları için, GEP ve ÇDR ile elde edilen tahmin modelleri sonucunda ortaya çıkan veriler kullanılarak, hesaplanan MSE (ortalama kare hata), RMSE (kök ortalama kare hata), MAPE (ortalama mutlak yüzde hata) ve R (korelasyon katsayısı) parametreleri verilmiştir. MSE, RMSE ve MAPE sonuçları ile kullanılan model sayesinde ulaşılan verilerin mevcut hedeflenen değerlere uyumu belirlenebilmektedir. Elde edilen bu değerlerin artması tahmin değerlerindeki hata oranlarının artması olarak ortaya çıkmaktadır.

Diğer tüm parametrelerin de dikkate alınmasıyla birlikte, R korelasyon katsayılarındaki artış da verilerin uygunluğunun bir diğer göstergesi olabilmektedir. Bu durumda ortaya çıkan sonuçlar değerlendirildiğinde, GEP modeli kullanılarak oluşturulan tüm veri tahminlerinin ÇDR modeli ile oluşturulan veri tahminlerine göre hedeflenen değerlere daha yakın sonuçlar verdiği görülmektedir.

Çizelge 1. İstatistiksel değerlendirme

	Model	MSE	RMSE	MAPE	R
Dayanım	GEPtest	2.983	1.727	7.186	0.937
	ÇDR	10.122	3.181	15.735	0.787
Rötre	GEPtest	6735.610	82.071	22.937	0.9697
	ÇDR	27242.942	165.054	54.342	0.8487

4. Sonuçlar

Çalışma kapsamında, girdi parametreleri olarak SH molaritesi, A/UK oranı, SS/SH oranı ve yaş değişimi kullanılarak hem ÇDR hem de GEP modelleri oluşturulmuştur. Oluşturulan modelleri temsil eden denklemler, korelasyon katsayıları, ortalama yüzde mutlak hata oranları, normalize edilmiş değerler belirlenerek hafif geopolimer harçların basınç dayanımları ve rötre sonuçları istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Gerçekleştirilen değerlendirme sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- GEP modeli kullanılarak elde edilen denklem için korelasyon katsayısı 0.937 olarak bulunmuştur.
- ÇDR ile oluşturulan tahmin modelini temsil eden denklem için elde edilen korelasyon katsayısı 0.787 olarak bulunmuştur.

- ÇDR modeli ile elde edilen veriler için ortalama yüzde mutlak hata değerleri GEP modeli ile elde edilen sonuçlardan daha yüksek olmuştur.
- Artan rötre değerleri ile ulaşılan ortalama yüzde hatalarının da düştüğü görülmüştür.
- ÇDR ile oluşturulan modelde, mikro uzaması 350 ‘den küçük rötre değerleri için normalize edilmiş rötre sonuçlarında bariz bir sapma görülmüştür.
- GEP modeli kullanılarak oluşturulan tüm veri tahminlerinin ÇDR modeli ile oluşturulan veri tahminlerine göre hedeflenen değerlere daha yakın sonuçlar verdiği görülmüştür.

Teşekkür

Bu çalışma; Harran Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi birimi tarafından HÜBAP/18252 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

Kaynaklar

- [1] D. Hardjito, S.E. Wallah, D. M. Sumajouw and B.V. Rangan, Factors influencing the compressive strength of fly ash-based geopolymer concrete. *Civil engineering dimension*, 6(2), 88-93, 2004.
- [2] M. L. Oliveira, M. Izquierdo, X. Querol, R. N. Lieberman, B. K. Saikia, L. F. Silva, Nanoparticles from construction wastes: a problem to health and the environment. *Journal of Cleaner Production*, 219, 236-243, 2019.
- [3] R. Siddique, P. Aggarwal and Y. Aggarwal, Prediction of compressive strength of self-compacting concrete containing bottom ash using artificial neural networks. *Advances in engineering software*, 42(10), 780-786, 2011.
- [4] K.C. Onyelowe, F. E. Jalal, M. E. Onyia, I. C. Onuoha. and G. U. Alaneme, Application of gene expression programming to evaluate strength characteristics of hydrated-lime-activated rice husk ash-treated expansive soil. *Applied Computational Intelligence and Soft Computing*, 2021.
- [5] F. Farooq, W. Ahmed, A. Akbar, F. Aslam and R. Alyousef, Predictive modeling for sustainable high-performance concrete from industrial wastes: A comparison and optimization of models using ensemble learners. *Journal of Cleaner Production*, 292, 126032, 2021.
- [6] J. R. Koza, *Genetic programming: on the programming of computers by means of natural selection*. vol. 1. MIT Press, 1992.
- [7] M. A. Khan, S. A. Memon, F. Farooq, M. F. Javed, F. Aslam, and R. Alyousef, Compressive strength of fly-ash-based geopolymer concrete by gene expression programming and random forest. *Advances in Civil Engineering*, 2021.
- [8] B. S. R. Yeddula and S. Karthiyaini, Experimental investigations and GEP modelling of compressive strength of ferrosialate based geopolymer mortars. *Construction and Building Materials*, 236, 117602, 2020.
- [9] A. Nazari and F. P. Torgal, Modeling the compressive strength of geopolymeric binders by gene expression programming-GEP. *Expert Systems with Applications*, 40(14), 5427-5438, 2013.
- [10] A. Shahmansouri, H. A. Bengar and S. Ghanbari, Compressive strength prediction of eco-efficient GGBS-based geopolymer concrete using GEP method. *Journal of Building Engineering*, 31, 101326, 2020.

- [11] A. Nazari, Application of gene expression programming to predict the compressive damage of lightweight aluminosilicate geopolymer. *Neural Computing and Applications*, 31(2), 767-776, 2019.
- [12] H. Y. Leong, D. E. L. Ong, J. G. Sanjayan and A. A. Nazari, genetic programming predictive model for parametric study of factors affecting strength of geopolymers. *RSC advances*, 5(104), 85630-85639, 2015.
- [13] B. A. Fillenwarth, and S. M. Sastry, Development of a predictive optimization model for the compressive strength of sodium activated fly ash based geopolymer pastes. *Fuel*, 147, 141-146, 2015.
- [14] H. H. Chu, M. A. Khan, M. Javed, A. Zafar, M. I. Khan, H. Alabduljabbar and S. Qayyum, Sustainable use of fly-ash: Use of gene-expression programming (GEP) and multi-expression programming (MEP) for forecasting the compressive strength geopolymer concrete. *Ain Shams Engineering Journal*, 2021.
- [15] M. A. Khan, A. Zafar, F. Farooq, M. F. Javed, R. Alyousef, H. Alabduljabbar and M. I. Khan, Geopolymer concrete compressive strength via artificial neural network, adaptive neuro fuzzy interface system, and gene expression programming with k-fold cross validation. *Front. ater.* 8: 621163, 2021.
- [16] A. Nazari, Compressive strength of geopolymers produced by ordinary Portland cement: Application of genetic programming for design. *Materials & Design*, 43, 356-366, 2013.
- [17] S. Fakhrian, H. Behbahanih and S. Mashhadi, Predicting post-fire behavior of green geopolymer mortar containing recycled concrete aggregate via GEP approach. *Journal of Soft Computing in Civil Engineering*, 4(2): 22-45, 2020.
- [18] A.A. Shahmansouri, H. A. Bengar, and S. Ghanbari, Experimental investigation and predictive modeling of compressive strength of pozzolanic geopolymer concrete using gene expression programming. *Journal of Concrete Structures and Materials*, 5(1), 92-117, 2020.
- [19] H.H. Chu, M.A. Khan, M. Javed, A. Zafar, M.I. Khan, H. Alabduljabbar and S. Qayyum. Sustainable use of fly-ash: Use of gene-expression programming (GEP) and multi-expression programming (MEP) for forecasting the compressive strength geopolymer concrete. *Ain Shams Engineering Journal*, 12(4), 3603-3617, 2021.
- [20] M. Su, Q. Zhong, and H. Peng. Regularized multivariate polynomial regression analysis of the compressive strength of slag-metakaolin geopolymer pastes based on experimental data. *Construction and Building Materials*, 303, 124529, 2021.
- [21] Ekmen, Ş. Uçucu kül esaslı hafif geopolimer harçların taze ve sertleşmiş özelliklerinin incelenmesi, modellenmesi ve optimizasyonu. Doktora tezi, Harran Üniversitesi, 129, 2021.

YALOVA İLİ SÜLEYMANBEY MAHALLESİNDE BULUNAN PROJE ALANININ NONLİNEER SİSMİK SAHA TEPKİSİ KULLANILARAK SIVILAŞMA POTANSİYELİNİN İNCELENMESİ

Merve GÜNEŞ¹, Arda Burak EKME^{2*}

¹⁻²Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa, 63050, Türkiye

Geliş Tarihi/Received Date: 23.01.2022 Kabul Tarihi/Accepted Date: 16.08.2022 DOI: 10.54365/adyumbd.1061896

ÖZET

Meydana gelen depremler sonucunda yapılarda sıvılaşma kaynaklı büyük hasarların oluşması, sıvılaşma analizlerinin önemini zamanla arttırmış ve bilgisayar destekli analizlerin daha sık kullanılmasına olanak sağlamıştır. Bu çalışmada, Yalova İli Süleymanbey Mahallesiinde yer alan proje alanı için sismik saha tepkisi dikkate alınarak sıvılaşma potansiyeli değerlendirilmiştir. Sismik saha tepki analizleri gerçek deprem senaryoları kullanılarak Deepsoil programında yürütülmüştür. Sırasıyla $M_w=5.3$, 5.8, 6.6, 7.1 ve 7.6 büyüklüğündeki Çanakkale Ayvacık, Afyonkarahisar Çobanlar, Ege Denizi İzmir Seferihisar Açıkları, Düzce (Bolu) ve Kocaeli Deprem verileri kullanılarak nonlineer analiz yöntemiyle maksimum yer ivmesi değerlerine ulaşılmıştır. Söz konusu deprem senaryolarının ilgili proje alanına uygulanmasıyla elde edilen verilerin sıvılaşma analizlerinde bir girdi olarak kullanılması, analizlerin gerçek duruma yakın bir biçimde yürütülmesini sağlamıştır. Her bir deprem büyüklüğü için Novoliq programında yer alan 9 farklı metot ve sadeleştirilmiş teorik yöntem kullanılarak sıvılaşma analizleri gerçekleştirilmiş olup elde edilen sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Proje alanında $M_w=5.3$, 5.8 ve 6.6 büyüklüğündeki depremler için sıvılaşma potansiyeli değişkenlik gösterirken $M_w=7.1$ ile $M_w=7.6$ büyüklüğündeki depremlerde alanın tamamında sıvılaşma riski gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sismik Saha Analizi, Sıvılaşma Analizi, Sıvılaşma Potansiyeli, Deprem, Yalova İli

INVESTIGATION OF LIQUEFACTION POTENTIAL UTILIZING NONLINEAR SEISMIC SITE RESPONSE OF THE PROJECT AREA LOCATED IN YALOVA PROVINCE SÜLEYMANBEY DISTRICT

ABSTRACT

The occurrence of significant liquefaction-induced damage in structures due to earthquakes has increased the importance of liquefaction analyses over time and has enabled computer-aided analyses to be used more frequently. This study evaluated the liquefaction potential for the project area located in the Süleymanbey District of Yalova Province considering the seismic field response. Seismic field response analyses were carried out in the Deepsoil software using real earthquake scenarios. Peak ground acceleration values were obtained by utilizing the nonlinear analysis method using Çanakkale Ayvacık, Afyonkarahisar Çobanlar, Aegean Sea İzmir Seferihisar Offshore, Düzce (Bolu) and Kocaeli Earthquake data with $M_w=5.3$, 5.8, 6.6, 7.1 and 7.6 magnitudes, respectively. Using the data obtained from earthquake scenarios in the relevant project area as an input enabled the analyses to be carried out realistically. Liquefaction analyses were performed for each earthquake magnitude utilizing the nine different methods in the Novoliq software and simplified theoretical method; then, the results were compared. While the liquefaction potential in the project area for earthquakes with a magnitude of $M_w=5.3$, 5.8, and 6.6 varies, liquefaction risk was observed throughout the area in earthquakes with a magnitude of $M_w=7.1$ and $M_w=7.6$.

Keywords: Seismic Field Analysis, Liquefaction Analysis, Liquefaction Potential, Earthquake, Yalova Province

*1e-posta: muh.mervegunes@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4544-3123>

2e-posta: ardaburakekmen@harran.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9703-2185> (Sorumlu Yazar)

1. Giriş

Sismik sarsıntılarının neden olduğu hasarlar, yapı kalitesi ve uygunluğunun yanı sıra zemin karakterlerinin de etkisiyle meydana gelmektedir. Sıvılaşma, yapılarda aşırı oturma, zemine gömülme, batma, göçme ve devrilme gibi hasarlar oluşturabilir. Zeminlerde sıvılaşma olayı, yeraltı su seviyesinin altında bulunan zemin tabakalarının deprem esnasında veya sonrasında geçici bir süre dayanımını kaybederek sıvı gibi davrandığı süreçtir [1].

Sıvılaşma mekanizması ve sıvılaşmadan kaynaklı hasarlarla ilgili araştırmalar, 1964 yılında Niigata-Japonya ve Büyük Alaska-A.B.D. depremlerinin meydana gelmesi ile artış göstermiştir. Özellikle sıvılaşmayla ilgili çalışmalar son kırk yılda popülerlik kazanmıştır [2]. Sıvılaşma olayının genellikle kohezyonsuz zeminlerde meydana geldiği düşünülse de son zamanlarda yürütülen arazi ve laboratuvar çalışmalarıyla drenajlı çakıllı kumlu ve düşük kohezyonlu siltli zeminlerde de sıvılaşma olayına rastlanılmaktadır. Zeminlerde sıvılaşma başlangıç rölatif sıklık derecesine bağlı hacimsel değişim, dane boyutu ve dağılımı, jeolojik yaş, çökme şartları ve su geçirgenliği gibi zemin özellikleriyle birlikte depremin süresi, büyüklüğü ve mesafesi gibi sismik faktörlerden etkilenmektedir [3]. Sıvılaşma esnasında sismik dalgalar nedeniyle zemin tanelerinin arasında artan boşluk suyu basıncının toplam gerilmeye eşit olması durumunda taneler arasındaki sürtünme kuvveti sıfır olmaktadır. Bu durumun gelişimiyle temel zemininde taşıma gücü kaybı, ani ve aşırı oturmalar gibi hasarlar görülmektedir. Genellikle deprem büyüklüğünün 5'ten büyük olması durumunda zeminde sıvılaşma olayı gözlenebilmektedir [4].

Zeminlerin sıvılaşma potansiyeli belirlenirken sahada uygulanan Standart Penetrasyon Testi (SPT), Koni Penetrasyon Testi (CPT), Kayma dalga hızı (Vs) vb. verilerden veya saha çalışmalarından elde edilen örselenmemiş zemin örneklerine laboratuvar ortamında uygulanan dinamik basit kesme ve üç eksenli basınç deneylerinden elde edilen verilerden yararlanılmaktadır [5]. Zeminlerin sıvılaşma potansiyeli, sismik sarsıntılar meydana gelmeden önce Geoteknik Deprem Mühendisliği kapsamındaki literatürde kabul gören formüllerle belirlenebilmektedir. Zeminlere uygulanan çeşitli deprem senaryoları sayesinde elde edilen ivme değerlerinin sıvılaşma analizi hesap yöntemlerinde kullanılmasıyla sismik sarsıntının sıvılaşma üzerindeki etkisi dikkate alınır. Bu sayede deprem esnasında ve sonrasında oluşabilecek sıvılaşma riski tespit edilebilmektedir.

Bu çalışma kapsamında, Yalova İli Süleymanbey Mahallesi'nde yer alan bir proje alanının SPT verileri kullanılarak sıvılaşma potansiyeli değerlendirilmiştir. İnceleme alanının sıvılaşma potansiyeli değerlendirmesi için meydana gelmiş farklı büyüklüklerdeki depremlerin verileri kullanılarak sismik saha analizleri yürütülmüştür. Bir boyutlu sismik saha analizi programı olan DEEPSOIL [6] yazılımıyla yapılan sismik saha analizlerinde her deprem büyüklüğü için ayrı ayrı maksimum yer ivmesi (PGA) değerlerine ulaşılmıştır. Sıvılaşma analizi için sadeleştirilmiş yöntem olan Seed ve Idriss [7] metodundan ve NOVOLIQ [8] zemin sıvılaşma programındaki yöntemlerden faydalanılmış olup elde edilen güvenlik faktörleri birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

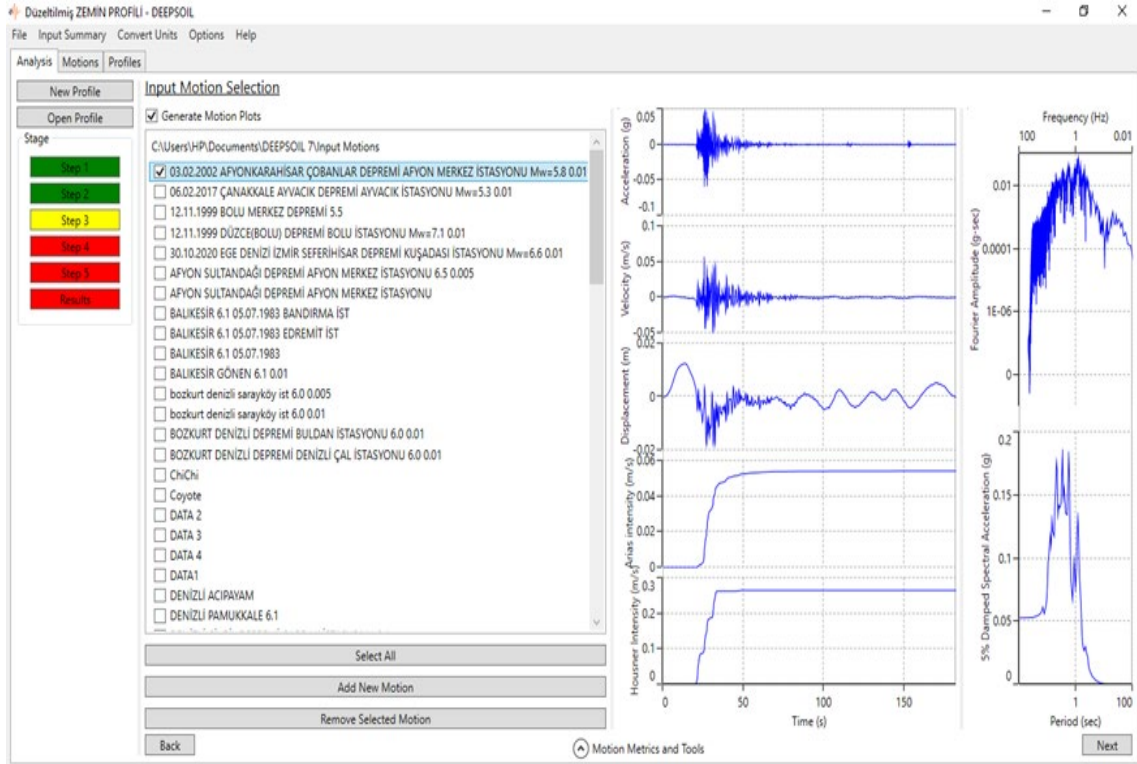
Bu çalışma kapsamındaki analizlerde Yalova İli Süleymanbey Mahallesi'nde yer alan proje alanının zemin parametreleri kullanılmıştır. Sismik saha analizleri, inceleme alanında açılan 3 adet toplam 91,35 m ve 2 adet toplam 120,00 m derinliğindeki 5 farklı sondaj noktasından ulaşılan en kritik zemin parametreleri göz önüne alınarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca sondaj noktaları aracılığıyla belirlenen yeraltı su seviyelerinden en kritik olanı seçilerek analizlerde yeraltı su seviyesi 2.70 m olarak dikkate alınmıştır. Çalışmada kullanılan en kritik sondaj verilerine ait zemin tiplerinin derinliğe bağlı değişimi Çizelge 1'de sunulmuştur.

Çizelge 1. Araştırma alanının temel sondajlarında zemin tipinin derinliğe göre değişimi [9]

Derinlik	Zemin Tipi	Doygun/Doğal Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	Kayma Dalga hızı (m/sn)
1.70	Siltli Kum	19.2	71.95
2.70	Siltli Kum	19.2	71.95
3.20	Siltli Kum	20.2	70.14
4.70	Siltli Kum	19.8	70.85
6.25	Siltli Kum	19.3	71.76
7.70	Killi Kumlu Çakıl	19.5	100.96
9.20	Siltli Kum	20.2	70.14
10.70	Siltli Kum	19.2	71.95
12.20	Siltli Kum	18.9	72.52
13.70	Düşük Plastisiteli Kil	19.2	43.72
15.25	Düşük Plastisiteli Kil	18.85	44.12
16.70	Kil	18.85	40.28
18.20	Kil	18.85	40.28
19.70	Kil	18.85	40.28
21.25	Kil	18.85	40.28
22.70	Kil	18.85	40.28
24.20	Kil	18.85	40.28
25.70	Siltli Kil	18.85	44.12
27.20	Siltli Kil	18.85	44.12
28.70	Siltli Kil	18.85	44.12
30.20	Siltli Kil	18.85	44.12

Çizelge 1’de sunulan birim hacim ağırlıklar 2.70 metre ve altındaki zeminler için doygun birim ağırlığı, bu derinliğin üstündeki zemin için ise doğal birim hacim ağırlığı ifade etmektedir. Zemin parametrelerinden ve SPT verilerinden yararlanarak sismik saha tepki analizinin etkisi dikkate alınıp inceleme alanının sıvılaşma potansiyeli değerlendirilmiştir. Zemin profilinin 30.2 m derinliğine kadar olan kısmında sismik saha analizleri yapılmıştır. Kum ve siltli kum tipindeki zeminlerde sıvılaşma analizleri genellikle 15 m derinliğe kadar yapılmaktadır. Belirtilen zemin litolojisinde 13.70 ve 15.25 m derinliklerde düşük plastisiteli kil, 16.70 m ve altındaki tabakalarda kil tipi zeminlerin varlığı tespit edilmiştir. Bu kil tabakalarında sıvılaşma meydana gelmesi için özel durumlar [10] sağlanmadığından inceleme alanında ilgili gerekçelere dayanarak 12.2m derinlik sonrasında sıvılaşma analizine ihtiyaç duyulmamıştır. Sıvılaşma analizleri 12.2 m derinliğe kadar olan noktalarda gerçekleştirilmiştir.

Sismik saha analizleri için DEEPSOIL [6] yazılımı kullanılmıştır. DEEPSOIL [6] yazılımında, tarihsel süreç içerisinde meydana gelmiş bölgeye yakın istasyonlardaki gerçek deprem kayıtlarıyla zeminin dinamik davranışı incelenmiştir. $M_w=5.3$, $M_w=5.8$, $M_w=6.6$, $M_w=7.1$ ve $M_w=7.6$ büyüklüğündeki gerçek deprem kayıtları çalışılan alana uygulanarak her deprem büyüklüğü için ayrı ayrı maksimum yer ivmesi (PGA) değerlerine ulaşılmıştır. Elde edilen PGA değerleri sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesi için teorik ve bilgisayar programında yapılan sıvılaşma analizi hesaplarına dahil edilmiştir. DEEPSOIL [6] programında deprem kayıtlarının seçimi Şekil 1’de sunulmuştur.



Şekil 1. DEEPSOIL [6] programında deprem kayıtlarının seçimi

Seçilen depremlerin verilerine temel gürültü düzeltmesi uygulanmıştır. İnceleme alanına ait SPT verilerinden yararlanılarak SPT'ye dayalı analiz yöntemleriyle sınılaşma potansiyeli, araştırılmıştır. Sınılaşma analizi hesaplarında teorik yöntem olarak Seed ve Idriss [7] metodu ve zemin sınılaşma analizlerinde kullanılan NOVOLIQ [8] geoteknik yazılımı kullanılmıştır. NOVOLIQ [8] programında yapılan analizlerde Youd ve ark. [11], Boulanger ve Idriss [12], Vancouver Task Force [13], Chinese Code [14], Seed ve ark. [15], Japanese Highway Bridge Code [16], Tokimatsu ve Yoshimi [17], Shibata [18], Kokusho ve ark. [19] yöntemleri seçilmiştir. Bu şekilde hem teorik yöntemle hem de sınılaşma analiz programı yardımıyla 10 farklı yöntemle göre proje alanının sınılaşma potansiyeli değerlendirilmesi karşılaştırmalı bir biçimde yürütülmüştür.

Çalışmanın teorik analiz kısmında kullanılan N_{60} ve $(N_1)_{60}$ değerleri, SPT-Narazi değerlerinden Denklem 1 ve 2'deki formüller yardımıyla elde edilmiştir [20].

$$N_{60} = (1.67)E_m C_b C_r N \quad (1)$$

$$(N_1)_{60} = C_N N_{60} \quad (2)$$

Denklem 1 ve 2'de yer alan N_{60} arazi testlerine göre düzeltilmiş SPT- N değerini, E_m şahmerdan etkinliğini, C_b kuyu çapı düzeltmesini, C_r tij uzunluğu düzeltmesini, C_N üst tabaka yükü (örtü basıncı) düzeltme katsayısını, $(N_1)_{60}$ arazi deneyleri ve örtü basıncına göre düzeltilmiş N değerini ve N arazide ölçülmüş ham standart penetrasyon testi değerini belirtmektedir.

Bu çalışmada, üst tabaka yükü (örtü basıncı) düzeltme katsayısı (C_N), düşey efektif gerilme değerinin 200'den küçük olması durumunda Liao ve Whitman [21] tarafından önerilen Denklem 3'teki denklem aracılığıyla hesaplanmış olup ilgili değer 200'den büyük olması durumunda ise Kayen ve ark. [22] tarafından sunulan Denklem 4'te verilen eşitlik kullanılmıştır.

$$C_N = \sqrt{\frac{P_a}{\sigma'_{vo}}} \leq 1.7 \quad (3)$$

$$C_N = \frac{2.2}{1.2 + \frac{\sigma'_{vo}}{P_a}} \quad (4)$$

Denklem 3 ve 4'te yer alan P_a yaklaşık 100 kPa değerindeki referans gerilmeyi ve σ'_{vo} düşey efektif gerilmeyi temsil etmektedir.

Seed ve ark. [23], SPT ile sıvılaşma hasarını $(N_1)_{60}$ değerine göre; $0 \leq (N_1)_{60} < 20$ olması durumunda yüksek hasar, $20 \leq (N_1)_{60} < 30$ orta hasar ve $(N_1)_{60} > 30$ önemsiz hasar olmak üzere 3 durumda yorumlanmıştır.

Zeminlerin sıvılaşma potansiyelini belirlemek için yapılan sıvılaşma analizi hesaplamalarında kullanılabilen birçok yaklaşım vardır. Bu çalışmada sıvılaşma potansiyeli hem manuel teorik hesaplamalarla hem de analiz programı aracılığıyla belirlenmiştir. Teorik hesaplamalarda kullanılan sadeleştirilmiş Seed ve Idriss [7] yönteminde sıvılaşmaya karşı direnci temsil eden çevrimsel kayma mukavemeti oranı (CRR) ve depremin neden olduğu çevrimsel kayma gerilme oranı (CSR) ile Denklem 5 aracılığıyla güvenlik sayısı elde edilmektedir.

$$G_s = \frac{CRR}{CSR} \quad (5)$$

Elde edilen güvenlik sayısının 1'den küçük ($G_s < 1.0$) olması durumunda sıvılaşma olayı beklenmektedir. Güvenlik sayısının 1'den büyük veya 1 eşit ve 1.2'den küçük ($1.0 \leq G_s < 1.2$) olması durumunda sıvılaşma riski bulunmakta ve 1.2'ye eşit veya 1.2'den büyük ($G_s \geq 1.2$) olması durumunda sıvılaşma olayı meydana gelmemektedir [7].

Seed ve Idriss [7] yönteminde depremin neden olduğu CSR Denklem 6'da verilen eşitlikten elde edilmektedir.

$$CSR = \frac{\tau_{dev}}{\sigma'_{vo}} = 0,65 r_d \frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \frac{a_{max}}{g} \quad (6)$$

Denklem 6'da, τ_{dev} depremin üniform devirsel kayma gerilmesini (kPa), σ'_{vo} düşey efektif gerilmeyi, r_d derinlik azaltma faktörünü (boyutsuz), σ_{vo} toplam düşey gerilmeyi (kPa), a_{max} maksimum yatay yer ivmesini ve g yerçekimi ivmesini (9.81 m/s^2) ifade etmektedir.

Denklem 6'daki eşitlikte yer alan derinlik azaltma faktörü (r_d) Denklem 7'de verilen eşitlikten elde edilmektedir [22].

$$r_d = 1 - 0.012z \quad (7)$$

Derinlik azaltma faktörünün elde edildiği Denklem 7'deki z , derinliği ifade etmektedir.

Sıvılaşmaya karşı direnci temsil eden çevrimsel kayma mukavemeti oranı (CRR), Seed ve ark. [22] tarafından $M_w=7.5$ depremleri için ince tane yüzdeleri grafiği dikkate alınarak elde edilmiştir. Seed ve ark.'a [22] göre $M_w=7.5$ büyüklüğündeki depremlerde $(N_1)_{60}$ değerinin 30'dan büyük olması durumunda zemin sıkı bir durumda olacağından sıvılaşma meydana gelmemektedir. Bu kapsamda meydana gelen depremin büyüklüğünün $M_w=7.5$ 'ten büyük veya küçük olması durumunda CRR değerlerinin hesabında Youd ve ark. [24] tarafından önerilen büyüklük ölçek faktörünün kullanılması gerekmektedir. Büyüklük ölçek faktörü Denklem 8'de verilmiştir.

$$BÖF = \frac{10^{2.24}}{M_w^{2.56}} \quad (8)$$

Denklem 8’de verilen eşitlikte M_w , depremin moment büyüklüğünü ifade etmektedir. Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen teorik sıvılaşma analizlerinde Denklem 1-8’den faydalanılarak hesaplamalar yapılmıştır.

NOVOLIQ [8] programında yer alan birçok araştırmacının yapmış olduğu çalışmalardan problem tipine uygun bir biçimde Şekil 2’de sunulan 9 farklı yöntem seçilerek sıvılaşma analizleri gerçekleştirilmiştir.

The screenshot displays the NOVOLIQ software interface with the following sections:

- Define Soil Stratigraphy:** A table listing soil layers with columns for Layer Thickness (m), Soil Type, Unit Weight (kN/m³), Fines Content, D50 (mm), Check Liquefaction, and Su (kPa). The layers are: 1.7m Sand (Unit Weight: 19.2, Fines Content: 8.5, D50: 2, Su: 22), 1m Sand (Unit Weight: 19.2, Fines Content: 8.5, D50: 2, Su: 22), 0.5m Sand (Unit Weight: 20.2, Fines Content: 8.5, D50: 2, Su: 22), 1.5m Sand (Unit Weight: 19.8, Fines Content: 8.5, D50: 2, Su: 22), 1.55m Sand (Unit Weight: 19.3, Fines Content: 9.68, D50: 2, Su: 22), 1.45m Gravel (Unit Weight: 19.5, Fines Content: 6.1, D50: 4, Su: 0), and 1.5m Sand (Unit Weight: 20.2, Fines Content: 15.88, D50: 2, Su: 22).
- Analysis Settings:** A list of liquefaction assessment methods with checkboxes: NCEER Workshop (1997), Boulanger Idriss (2014), Vancouver Task Force (2007), Cetin et al. (2004), Chinese Code, Seed et al. (1983), Japanese Highway Bridge Code, Tokimatsu and Yoshimi (1983), Shibata (1981), and Kokusho et al. (1983). The FS formula is shown as $FS = (CRR_{7.5} / CSR) MSF$ and the CSR formula as $CSR = 0.65 (a_{max} / g) (\sigma'_{v0} / \sigma'_{v0}) R_d$.
- Enter Field Test Results:** Radio buttons for Standard Penetration Test (SPT), Shear Wave Velocity (Vs) Test, and Becker Density Test (BDT). A table of field test data shows SPT Blow Counts (N) at various depths (m): 1.7m (25), 2.7m (20), 3.2m (18), 4.7m (22), 6.25m (19), 7.7m (8), 9.2m (13), 10.7m (13), and 12.2m (13).
- SPT Correction:** Checkboxes for applying corrections: Depth correction (Liao and Whitman, 1986), Borehole diameter (65-115 mm), Sampling method (Standard sampler), Rod length method (Cetin et al.), and Hammer energy level (60%).
- Site's Seismic Data:** A button to enter site-specific seismic data.
- Project and Analyses Settings:** Buttons for Project Information and Analyses Methods.
- Surcharge Load:** A button to edit surcharge load, currently set to (no loading).

Şekil 2. NOVOLIQ [8] programına girilen zemin parametreleri ve analiz için seçilen yöntemler

3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışma kapsamındaki araştırma alanına yakın ve litolojik olarak uygun bölgelerde bulunan istasyonlardan AFAD [25] veritabanını aracılığıyla alınan gerçek deprem ivme-zaman verileri DEEPSOIL [6] programında modellenen zemine uygulanmıştır. Zemin profiline $M_w=5.3$ büyüklüğündeki Çanakkale Ayvacık Depremi (Ayvacık İstasyonu), $M_w=5.8$ büyüklüğündeki Afyonkarahisar Çobanlar Depremi (Afyonkarahisar Merkez İstasyonu), $M_w=6.6$ büyüklüğündeki Ege Denizi İzmir Seferihisar Açıkları Depremi (Kuşadası İstasyonu), $M_w=7.1$ büyüklüğündeki Düzce (Bolu) Depremi (Bolu İstasyonu) ve DEEPSOIL [6] programında kayıtlı olan $M_w=7.6$ büyüklüğündeki Kocaeli Depremi senaryoları uygulanmıştır.

Her bir deprem büyüklüğünden elde edilen maksimum yer ivmesi (PGA) değerleri Çizelge 2’de sunulmuştur. DEEPSOIL [6] programında gerçekleştirilen sismik saha analizinde deprem büyüklükleri

için elde edilen PGA değerleri Seed ve Idriss [7] yöntemi ve NOVOLIQ [8] programındaki yöntemler ile yapılan sıvılaşma analizlerinde kullanılmıştır.

Çizelge 2. DEEPSOIL [6] programında gerçekleştirilen sismik saha analizinde deprem büyüklükleri için elde edilen PGA değerleri

Deprem	Büyükük	Maksimum Yer İvmesi (PGA) (g)
Çanakkale Ayvacık Depremi Ayvacık İstasyonu	5.3	0.37
Afyonkarahisar Çobanlar Depremi Afyonkarahisar Merkez İstasyonu	5.8	0.41
Ege Denizi İzmir Seferihisar Açıkları Depremi Kuşadası İstasyonu	6.6	0.55
Düzce(Bolu) Depremi Bolu İstasyonu	7.1	0.61
Kocaeli Depremi	7.6	0.69

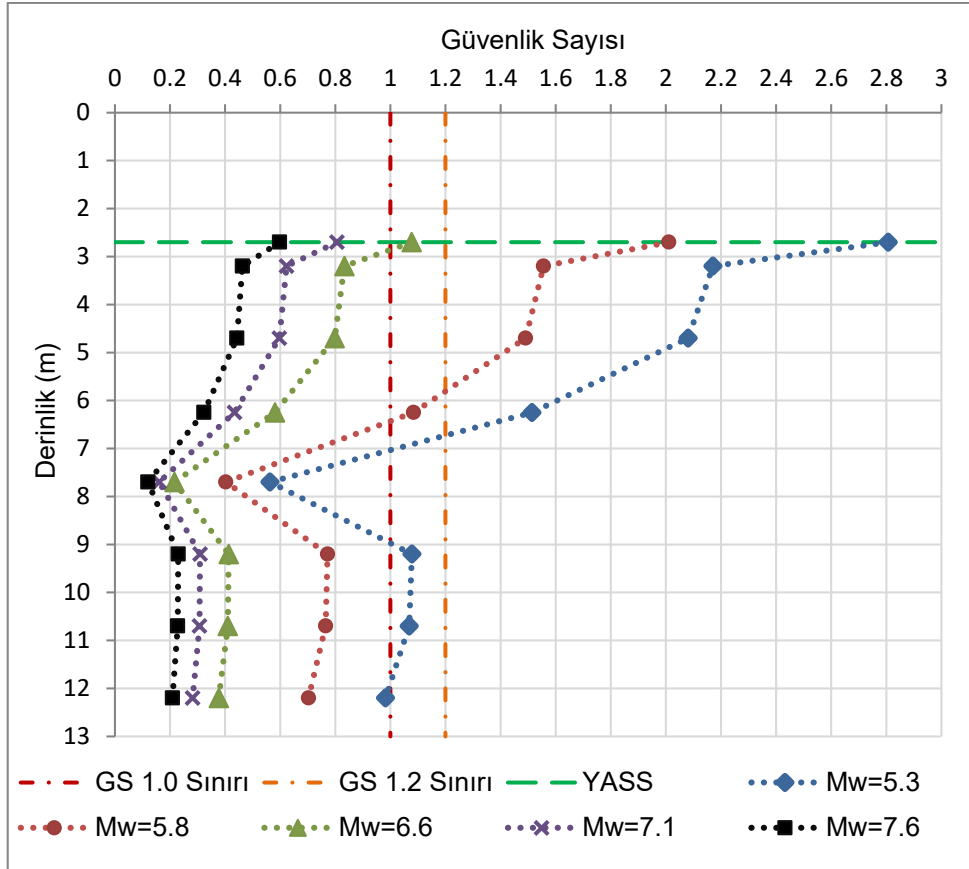
Seed ve Idriss [7] yöntemiyle her deprem büyüklüğü için yapılan sıvılaşma analizi hesaplamalarından elde edilen güvenlik sayıları Çizelge 3'te, güvenlik sayılarının eğrileri ise Şekil 3'te sunulmuştur. Teorik hesaplamalarda ve analiz programındaki sıvılaşma analizlerinde 1.7 m derinlikte $(N_1)_{60}$ değeri 30'dan büyük olduğu için Seed ve ark.'ın [23] önerisi dikkate alınarak bu derinlikte sıvılaşma analizi hesabı yapılmamıştır.

Çizelge 3. Sadeleştirilmiş yöntem ile sıvılaşma analizinden elde edilen güvenlik sayıları (Gs)

Derinlik	$M_w=5.3$	$M_w=5.8$	$M_w=6.6$	$M_w=7.1$	$M_w=7.6$
1,70	-	-	-	-	-
2,70	2.807	2.011	1.077	0.806	0.598
3,20	2.171	1.556	0.833	0.623	0.463
4,70	2.081	1.491	0.798	0.597	0.443
6,25	1.514	1.084	0.581	0.434	0.323
7,70	0.563	0.403	0.216	0.161	0.12
9,20	1.078	0.772	0.413	0.309	0.23
10,70	1.068	0.765	0.41	0.307	0.228
12,20	0.982	0.703	0.377	0.282	0.209

Seed ve Idriss [7] yöntemiyle yapılan sıvılaşma analizlerinde $M_w=5.3$ ve $M_w=5.8$ büyüklüğündeki depremlerde zemin tabakalarında sıvılaşma riski değişkenlik göstermektedir. $M_w=6.6$, $M_w=7.1$ ve $M_w=7.6$ büyüklüğündeki depremler için ise zeminin tamamında sıvılaşma potansiyeli mevcuttur.

İnceleme alanına ait zemin özellikleri, SPT verileri ve sismik saha analizlerden elde edilen PGA değerleri Şekil 2'de arayüzü gösterilmiş olan NOVOLIQ [8] yazılımına tanımlanarak sıvılaşma analizi gerçekleştirilmiştir. NOVOLIQ [8] yazılımında sıvılaşma analizleri "Materyal ve Yöntem" kısmında belirtilen metotlarla [11-19] yürütülmüştür.



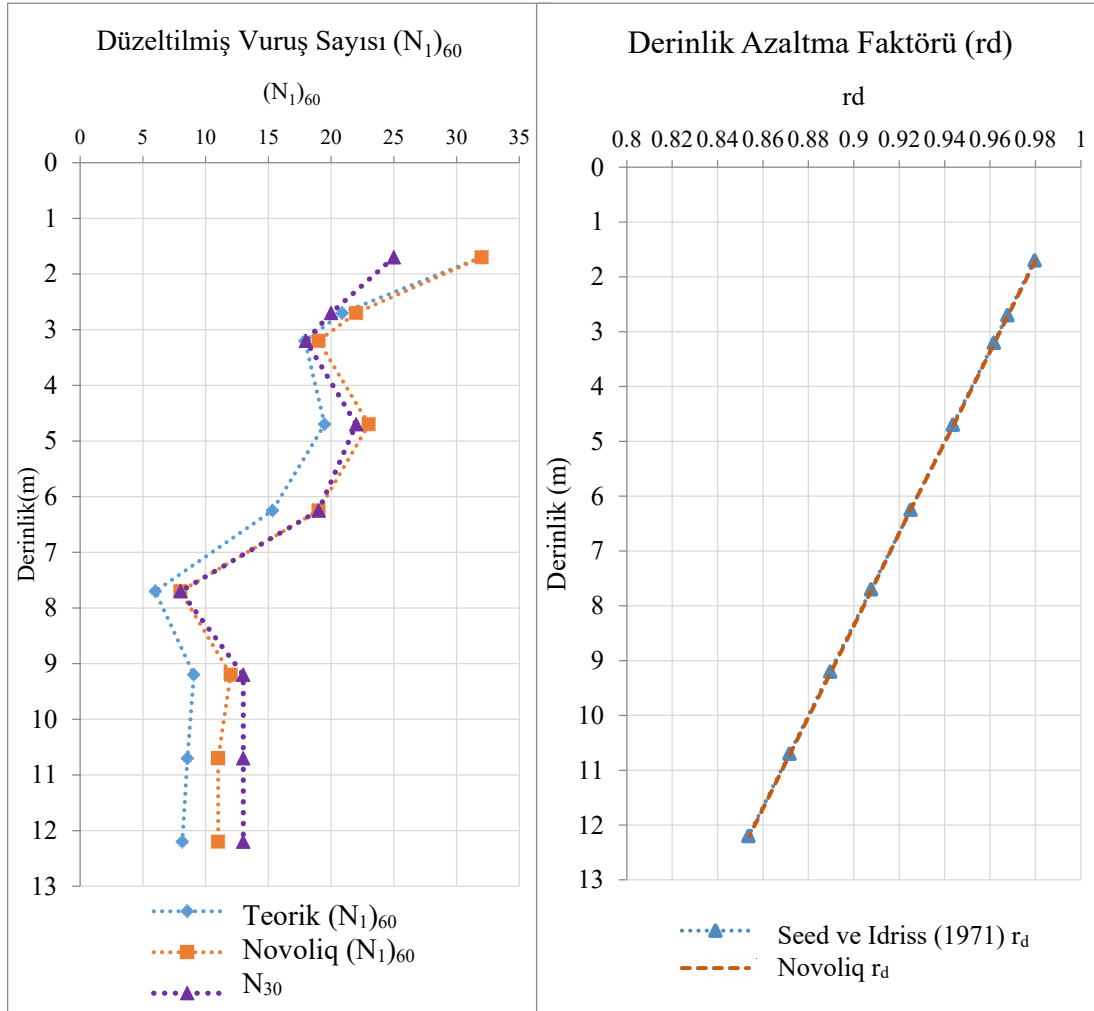
Şekil 3. Sadeleştirilmiş yöntem ile sıvılaşma analizinden elde edilen güvenlik sayılarının eğrileri

Sıvılaşma analizlerinde kullanılan SPT verileri, 5 farklı sondaj noktası için standart penetrasyon testinden elde edilen en kritik N_{30} değerleri dikkate alınarak belirlenmiştir. Teorik analizde ve NOVOLIQ [8] programında hesaplanan derinlik azaltma faktörü ve $(N_1)_{60}$ değerleri Çizelge 4'te sunulmuştur.

Çizelge 4. Teorik analizden ve NOVOLIQ programından elde edilen $(N_1)_{60}$ ve derinlik azaltma faktörü (rd) değerleri

Derinlik	Zemin Tipi	N_{30}	N_{60}	Teorik $(N_1)_{60}$	NOVOLIQ $(N_1)_{60}$	Teorik rd	NOVOLIQ rd
1,70	Siltli Kum	25	18.79	31.94	32	0.9796	0.98
2,70	Siltli Kum	20	15.03	20.88	22	0.9676	0.968
3,20	Siltli Kum	18	13.53	17.91	19	0.9616	0.962
4,70	Siltli Kum	22	16.53	19.48	23	0.9436	0.944
6,25	Siltli Kum	19	14.28	15.33	19	0.925	0.925
7,70	Killi Kumlu Çakıl	8	6.01	5.99	8	0.9076	0.908
9,20	Siltli Kum	13	9.77	9.06	12	0.8896	0.89
10,70	Siltli Kum	13	9.77	8.55	11	0.8716	0.872
12,20	Siltli Kum	13	9.77	8.14	11	0.8536	0.854

Şekil 4'te verilen $(N_1)_{60}$ ve derinlik azaltma faktörünün (rd) derinliğe bağlı eğrilerinde, Seed ve Idriss [7] yönteminden ve NOVOLIQ [8] programından elde edilen değerlerin uyumlu olduğu tespit edilmiştir.



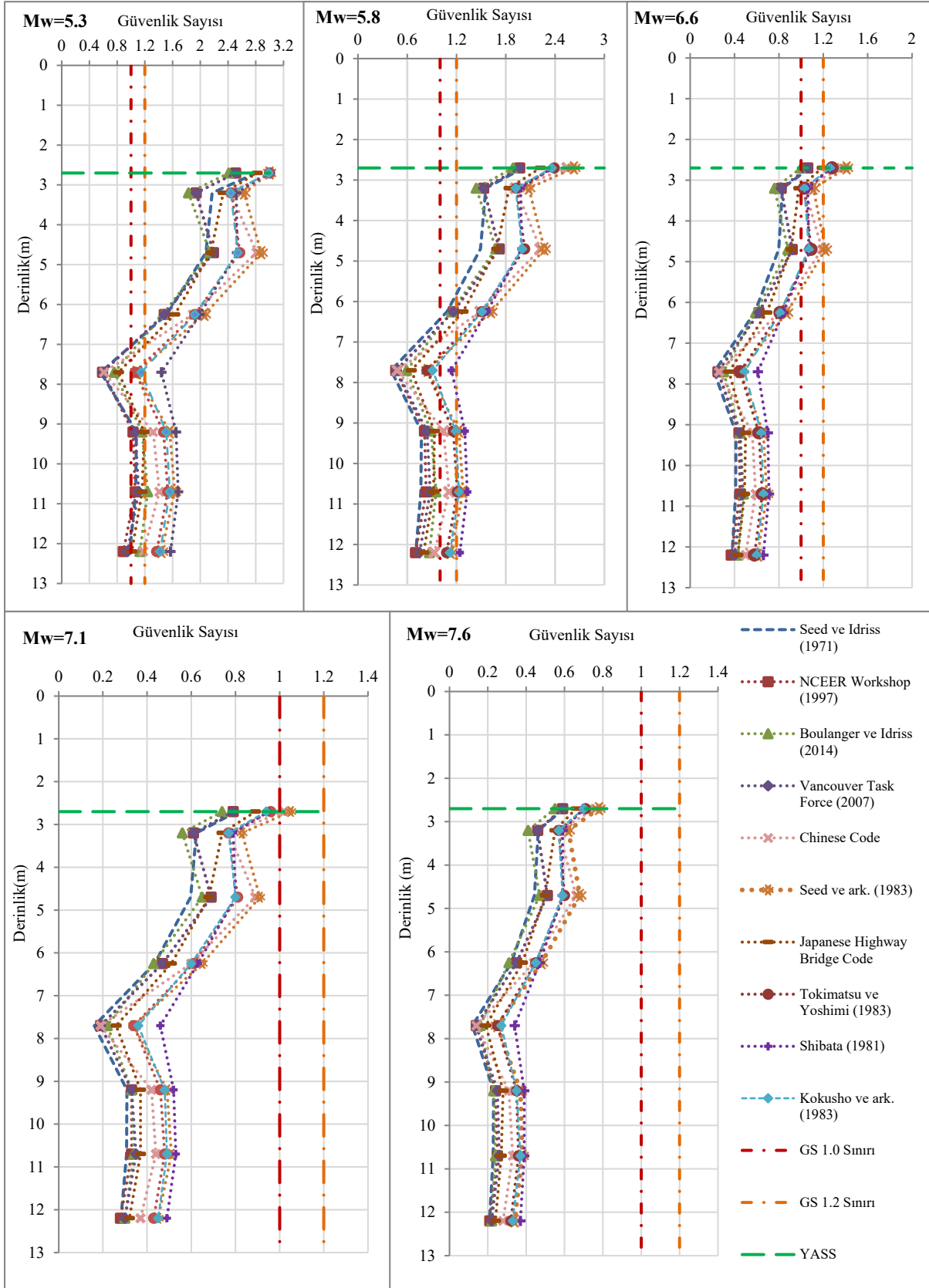
Şekil 4. Teorik analiz ve NOVOLIQ programından elde edilen $(N_1)_{60}$ ve derinlik azaltma faktörü (rd) değerlerinin eğrileri

NOVOLIQ [8] programında yer alan 9 farklı yöntemle $M_w=5.3$, $M_w=5.8$, $M_w=6.6$, $M_w=7.1$ ve $M_w=7.6$ büyüklüğündeki depremler için analizler ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Analizlerden elde edilen sonuçlar Seed ve Idriss [7] yönteminden elde edilen sonuçlar ile kıyaslanmıştır. NOVOLIQ [8] programında yapılan sıvılaşma analizinin güvenlik sayıları Çizelge 5'te sunulmuştur.

Klasik teorik yöntem ve NOVOLIQ [8] programındaki yöntemler ile dikkate alınan büyüklüklerdeki depremler için yapılan sıvılaşma analizlerinden elde edilen güvenlik sayılarının grafikleri Şekil 5'te verilmiştir.

Çizelge 5. NOVOLIQ programında sıvılaşma analizi sonucunda elde edilen güvenlik sayıları

Deprem Büyüklüğü PGA değeri	Derinlik	Güvenlik Sayıları								
		NCEER Workshop (1997)	Boulanger ve Idriss (2014)	Vancouver Task Force (2007)	Chinese Code	Seed ve ark. (1983)	Japanese Highway Bridge Code	Tokimatsu ve Yoshimi (1983)	Shibata (1981)	Kokusho ve ark. (1983)
$M_w=5.3$ PGA=0.37 g	1,70	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2,70	2.51	2.41	2.51	3	3	2.82	3	3	2.99
	3,20	1.94	1.83	1.94	2.44	2.63	2.33	2.45	2.52	2.44
	4,70	2.19	2.14	2.19	2.81	2.88	2.15	2.57	2.53	2.54
	6,25	1.48	1.46	1.48	1.89	2.06	1.63	1.92	1.99	1.92
	7,70	0.59	0.76	0.59	0.61	1.08	0.82	1.06	1.44	1.15
	9,20	1.03	1.16	1.06	1.32	1.56	1.19	1.47	1.65	1.51
	10,70	1.06	1.24	1.11	1.41	1.63	1.16	1.53	1.68	1.56
$M_w=5.8$ PGA=0.41 g	1,70	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2,70	1.97	1.89	1.97	2.55	2.63	2.22	2.39	2.36	2.36
	3,20	1.53	1.44	1.53	1.92	2.08	1.84	1.93	1.98	1.92
	4,70	1.72	1.68	1.72	2.22	2.27	1.69	2.03	1.99	2
	6,25	1.16	1.14	1.16	1.49	1.62	1.28	1.51	1.57	1.51
	7,70	0.46	0.59	0.47	0.48	0.85	0.65	0.84	1.14	0.91
	9,20	0.81	0.89	0.84	1.04	1.23	0.93	1.16	1.3	1.19
	10,70	0.83	0.95	0.88	1.11	1.28	0.92	1.21	1.33	1.23
$M_w=6.6$ PGA=0.55 g	1,70	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2,70	1.06	1	1.06	1.36	1.41	1.19	1.28	1.27	1.26
	3,20	0.82	0.76	0.82	1.03	1.11	0.98	1.03	1.06	1.03
	4,70	0.92	0.88	0.92	1.19	1.22	0.91	1.09	1.07	1.07
	6,25	0.62	0.59	0.62	0.8	0.87	0.69	0.81	0.84	0.81
	7,70	0.25	0.3	0.25	0.26	0.45	0.35	0.45	0.61	0.49
	9,20	0.44	0.45	0.45	0.56	0.66	0.5	0.62	0.7	0.64
	10,70	0.45	0.48	0.47	0.59	0.69	0.49	0.65	0.71	0.66
$M_w=7.1$ PGA=0.61 g	1,70	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2,70	0.79	0.74	0.79	1.02	1.05	0.89	0.96	0.95	0.94
	3,20	0.61	0.56	0.61	0.77	0.83	0.74	0.77	0.79	0.77
	4,70	0.69	0.65	0.69	0.89	0.91	0.68	0.81	0.8	0.8
	6,25	0.47	0.43	0.47	0.6	0.65	0.51	0.61	0.63	0.6
	7,70	0.19	0.22	0.19	0.19	0.34	0.26	0.34	0.46	0.36
	9,20	0.33	0.33	0.33	0.42	0.49	0.37	0.46	0.52	0.48
	10,70	0.33	0.34	0.35	0.44	0.51	0.37	0.48	0.53	0.49
$M_w=7.6$ PGA=0.69 g	1,70	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2,70	0.59	0.55	0.59	0.76	0.78	0.66	0.71	0.7	0.7
	3,20	0.46	0.41	0.46	0.57	0.62	0.55	0.57	0.59	0.57
	4,70	0.51	0.47	0.51	0.66	0.68	0.5	0.6	0.59	0.59
	6,25	0.35	0.31	0.35	0.44	0.48	0.38	0.45	0.47	0.45
	7,70	0.14	0.16	0.14	0.14	0.25	0.19	0.25	0.34	0.27
	9,20	0.24	0.23	0.25	0.31	0.37	0.28	0.35	0.39	0.35
	10,70	0.25	0.24	0.26	0.33	0.38	0.27	0.36	0.39	0.37
12,20	0.21	0.22	0.22	0.28	0.34	0.24	0.32	0.37	0.33	



Şekil 5. Sadeleştirilmiş yöntem ve NOVOLIQ programındaki metotlardan elde edilen derinliğe bağlı güvenlik sayılarının grafikleri

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, en kritik durumlar göz önüne alınarak Yalova İli Süleymanbey Mahallesi'nde yer alan proje alanının sınılaşma potansiyeli, sismik serbest saha tepki analizleri dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. DEEPSOIL [6] programında doğrusal olmayan yöntem seçilerek $M_w=5.3$, $M_w=5.8$, $M_w=6.6$, $M_w=7.1$ ve $M_w=7.6$ büyüklüğündeki her deprem için PGA değerleri sırasıyla 0.37 g, 0.41 g, 0.55 g, 0.61 g ve 0.69 g olarak elde edilmiştir. Bu PGA değerlerinden faydalanılarak sadeleştirilmiş yöntem ve NOVOLIQ [8] programında yer alan 9 farklı metodun kullanılmasıyla sınılaşma analizleri yürütülmüştür. Teorik yöntem ve bilgisayar programlarıyla yapılan sınılaşma analizlerinden elde edilen güvenlik sayılarına göre sınılaşma riski çoğul durum gözetilerek karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Sınılaşma analizlerinden ulaşılan sonuçlara göre, $M_w=5.3$, $M_w=5.8$, $M_w=6.6$ büyüklüğündeki depremler için zeminde sınılaşma beklenen ve sınılaşma riski olan tabakalar değişkenlik göstermiştir. $M_w=7.1$ ve $M_w=7.6$ büyüklüğündeki depremler için zemin katmanlarının tamamında sınılaşmanın beklendiği belirlenmiştir.

$M_w=5.3$ büyüklüğündeki deprem için 2.70-6.25 m arasında sınılaşma beklenmemektedir. Bu deprem büyüklüğü için Seed ve Idriss [7] yönteminde sınılaşma beklenen ve sınılaşma riski olan alanlar NCEER Workshop [11] ve Vancouver Task Force [13] yöntemleriyle elde edilen sınılaşma bölgeleriyle benzerlik göstermiştir. $M_w=5.8$ büyüklüğündeki Afyonkarahisar Çobanlar Depremi için teorik yöntem ve NOVOLIQ [8] programındaki metotlara göre 4.70-6.25 m arasında sınılaşma riski tespit edilmemiştir. $M_w=5.8$ deprem büyüklüğü için Seed ve Idriss [7] yöntemine göre sınılaşma beklenen ve sınılaşma riski olan bölgelerin NCEER Workshop [11], Boulanger ve Idriss [12] ve Vancouver Task Force [13] yöntemleriyle ulaşılan sınılaşma bölgeleriyle benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir.

$M_w=6.6$ büyüklüğüne sahip Ege Denizi İzmir Seferihisar Açıkları Depremi için teorik yöntem ve NOVOLIQ [8] programındaki metotlara göre 6.25-12.20 m arasındaki derinliklerde sınılaşmanın beklendiği belirlenmiştir. Ege Denizi İzmir Seferihisar Açıkları Depremi için NCEER Workshop [11], Boulanger ve Idriss [12], Vancouver Task Force [13] ve Japanese Highway Bridge Code [16] yöntemlerinde sınılaşma ve sınılaşma tehlikesi olan bölgeler Seed ve Idriss [7] yöntemiyle uyumaktadır.

$M_w=7.1$ büyüklüğündeki Düzce (Bolu) Depremi için Chinese Code [14] ve Seed ve ark. [15] yönteminde 2.70 m derinlikte sınılaşma riski mevcut olup geri kalan tüm derinliklerinde sınılaşma olacağı ön görülmüştür. $M_w=7.6$ büyüklüğündeki Kocaeli Depremi için teorik yöntem ve NOVOLIQ [8] programındaki analiz sonuçlarına göre zemin profilinin tamamında sınılaşma beklenmektedir.

Bu çalışma kapsamında ilgili bölgeye yakın yerlerde meydana gelmiş depremlerin bilgisayar programlarıyla sınılaşma analizlerine dahil edilmesi, gerçeğe yakın analizler yürütmeye olanak sağlamıştır. Kullanılan birçok yöntemden elde edilen güvenlik sayılarının kıyaslanmasıyla mühendislik açısından güvenilir ve ekonomik tasarımlara olanak sağlandığından sınılaşma analizlerinde bu yaklaşımın kullanılması önerilmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma kapsamında yürütülen analizlere, 21019 nolu yüksek lisans tezi bilimsel araştırma projesi aracılığıyla destek sağlayan Harran Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne ve proje alanına ait verilerin kullanım iznini sağlayan Safir Jeoteknik Mühendislik Son. Mad. İnş. San. ve Tic. Ltd. firmasına teşekkür ederiz.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makalemiz ile ilgili herhangi bir kurum, kuruluş, kişi ile mali çıkar çatışması yoktur ve yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynaklar

- [1] Akkaş Ü. Sıvılaşma potansiyelinin ve etkilerinin azaltılması. Yüksek lisans tezi. Sakarya: Sakarya Üniversitesi; 2006.
- [2] Çetin KÖ, Unutmaz, B. Zemin sıvılaşması ve sismik zemin davranışı. Türkiye Mühendislik Haberleri 2004; 430(2), 32-37.
- [3] Özaydın K. Zeminlerde Sıvılaşma. 6. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, 2007.
- [4] Aytaş Z. Zemin sıvılaşmasına zemin ve deprem parametrelerinin etkisinin değerlendirilmesi. Yüksek lisans tezi. Batman: Batman Üniversitesi; 2019.
- [5] Şengül T, Karabaş B. Kütahya merkez ilçesinde sıvılaşma potansiyelinin coğrafi bilgi sistemi ile incelenmesi. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 2021; 8(2), 817-825.
- [6] Hashash YMA, Musgrove MI, Harmon JA, Ilhan O, Xing G, Numanoglu O, Groholski DR, Phillips CA, Park D. DeepSoil, Version 7.0, User Manual. Urbana, IL, Board of Trustees of University of Illinois at Urbana-Champaign, 2020.
- [7] Seed HB, Idriss IM. Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, 1971; 97(9): 1249-1273.
- [8] Novotech, 2020. NOVOLIQ (2020), Version 4.0.2020.905, User Manual.
- [9] Safir Jeoteknik Müh. Sond. Mad. İnş. San. ve Tic. Ltd. Şti, Zemin Etüt Raporu.
- [10] Youd TL, Gilstrap SD. 1999. Liquefaction and Deformation of Silty and Fine-Grained Soils. 2nd-3rd Earthquake Geotechnical Engineering, Balkema, Rotterdam, 1013-1020, 1999
- [11] Youd TL, Idriss IM. Proceeding of the NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils. State University of New York at Buffalo, National Center for Earthquake Engineering Research, 1997, Report No: NCEER-97-0022.
- [12] Boulanger RW, Idriss IM. CPT and SPT based liquefaction triggering procedures. Center for Geotechnical Modeling, University of California at Davis, 2014, Report No: UCD/CGM-14 (1).
- [13] Anderson DL, Byrne PM, Devall RH, Naesgaard E, Wijewickreme D, Adebar P, Yan L. Geotechnical Design Guidelines For Buildings on Liquefiable Sites in Accordance With Nbc 2005 for Greater Vancouver Region. Greater Vancouver Liquefaction Task Force Report, University of British Columbia; 2007.
- [14] Chinese Code. Code for Seismic Design of Buildings-GB 50011-2010. National Standard of the People's Republic of China, China Architecture and Building Press, Beijing; 2010.
- [15] Seed HB, Idriss IM, Arango I. Evaluation of liquefaction potential using field performance data. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 1983; 109(3): 458-482.
- [16] Japan Road Association. Design Specifications for Highway Bridges. Part V, Seismic Design, Tokyo:Maruzen, Japanese; 2002.
- [17] Tokimatsu K, Yoshimi Y. Empirical correlation of soil liquefaction based on SPT n-value and fines content. Soil and Foundations 1983; 23(4): 56-74.
- [18] Shibata T. Relations Between N-Value and Liquefaction Potential of Sand Deposits. In Proc, 16th Annual Convention of Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering, p.621-624, Tokio, 1981.
- [19] Kokusho T, Yoshida Y, Esashi Y. A study on a seismic stability of dense sand (part 2)-evaluation method based on SPT n-value. Technical Report of Central Research Institute of Electric Power, 1983; Research Report No: 383026, Japanese, p.1-32.
- [20] Skempton AW. Standard penetration test procedures and the effects in sands of overburden pressure, relative density, particle size, aging and overconsolidation. Geotechnique 1986; 36(3): 425-447.
- [21] Liao SSC, Whitman RV. Overburden correction factor for SPT in sand. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE 1986;112(3): 373-377.
- [22] Kayen RE, Mitchell JK, Seed RB, Lodge AL, Nishio S, Couinho R. Evaluation of SPT, CPT, and Shear Wave Based Methods for Liquefaction Potential Assessment Using Lome Prieta Data. Proceedings, 4 th Japan-US Workshop on Earthquake Resistant Design of Life Line Facilities and Countermeasures for Soil Liquefaction, 1992; 1: 177 – 204.

- [23] Seed HB, Tokimatsu K, Harder LF, Chung RM. Influence of SPT procedures in soil liquefaction resistance evaluations. *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE* 1985; 111(12):1425-1445.
- [24] Youd TL, Idriss IM, Andrus RD, Arango I, Castro G, Christian JT, Dobry R, Liam Finn WD, Harder JrLF, Hynes ME, Ishihara K, Koester JP, Liao SSC, Marcuson WF, III Martin GR, Mitchell JK, Moriwaki Y, Power MS, Robertson PK, Seed RB, Stokoe KH. Liquefaction resistance of soils: summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops on evaluation of liquefaction resistance of soils. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE* 2001; 127(10): 817-833.
- [25] AFAD, 2021. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. Deprem Dairesi Başkanlığı, Türkiye İvme Veri Tabanı ve Analiz Sistemi.

LÖKOSİT TESPİTİ İÇİN BEYAZ KAN HÜCRELERİNİN ESA KULLANILARAK SINIFLANDIRILMASI

Mücella ÖZBAY KARAKUŞ^{1*}, Erdal ÖZBAY²

¹Bozok Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Yozgat, 66100, Türkiye

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

Geliş Tarihi/Received Date: 08.02.2022 Kabul Tarihi/Accepted Date: 18.07.2022 DOI: 10.54365/adyumbd.1069856

ÖZET

Beyaz kan hücreleri, insanların bağışıklık sisteminin en önemli yapısı olup, kan ve lenf dokularında kemik iliği tarafından üretilmektedir. Bu hücreler insan vücudunu hastalık ve yabancı organizmalara karşı koruyan savunma mekanizmalarıdır ve kandaki oranı düştüğünde Lökopeni ile karşılaşılabilir. Bu hücrelerin insan vücudundaki oranının belirlenmesi ve hastalığın tespit ve tedavisi için yoğun emek harcaması gerekmektedir. Bu çalışmada, derin öğrenme modellerini kullanarak beyaz kan hücreleri sınıflandırma performansının iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Sınıflandırma işlemi daha verimli gerçekleştirmek için evrişimli sinir ağı modelleri kullanılmıştır. Beyaz kan hücreleri çeşitleri olan eozinofil, lenfosit, monosit ve nötrofil arasında ayırım yapmak için Densenet201, ResNet50 ve Alexnet birleştirilmiştir. Elde edilen özellik haritalarının sınıflandırılması için K-En yakın komşuluk, Destek Vektör Makinesi ve Naïve Bayes olmak üzere üç farklı makine öğrenmesi sınıflandırıcısı kullanılmıştır. Derin Öğrenme (DÖ) ile eğitilen Kaggle veri kümesi görüntülerine CLAHE ve Gauss filtreleri uygulanarak bu görüntüler üç ESA ağı ile yeniden sınıflandırılmıştır. Bu filtreler uygulandıktan sonra elde edilen sonuçların, orijinal verilerle elde edilen sınıflandırma sonuçlardan daha yüksek olduğu ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Beyaz kan hücreleri, Derin öğrenme, ESA, Görüntü işleme, Sınıflandırma

CLASSIFICATION OF WHITE BLOOD CELLS USING CNN FOR THE DETECTION OF LEUCOCYTE

ABSTRACT

White blood cells are the most important structure of the human immune system and are produced by the bone marrow in the blood and lymph tissues. These cells are the defense mechanisms that protect the human body against diseases and foreign organisms, and Leukopenia may be encountered when the rate in the blood decreases. Intensive effort is required to determine the ratio of these cells in the human body and to detect and treat the disease. In this study, it is aimed to improve the white blood cell classification performance by using deep learning models. Convolutional neural network models are used to perform the classification process more efficiently. Densenet201, ResNet50, and Alexnet were combined to distinguish between the white blood cell variants, eosinophils, lymphocytes, monocytes, and neutrophils. Three different machine learning classifiers, namely K-Nearest Neighborhood, Support Vector Machine and Naïve Bayes, were used to classify the obtained feature maps. By applying CLAHE and Gaussian filters to Kaggle dataset images trained with Deep Learning (DL), these images were reclassified with three ESA networks. It has been revealed that the results obtained after applying these filters are higher than the classification results obtained with the original data.

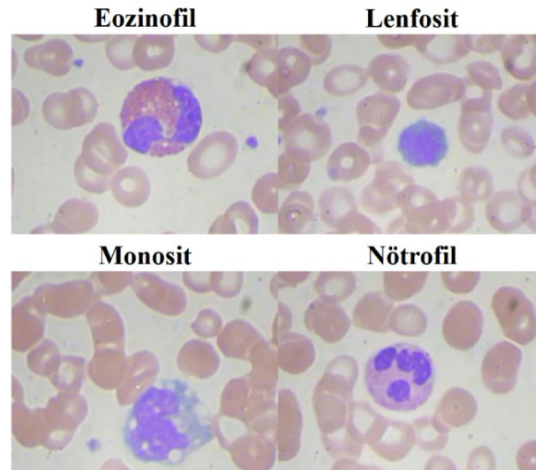
Keywords: White blood cells, Deep learning, CNN, Image processing, Classification

* e-posta¹ : mucella.karakus@yobu.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0599-8802> (Sorumlu Yazar)

e-posta² : erdalozbay@firat.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9004-4802>

1. Giriş

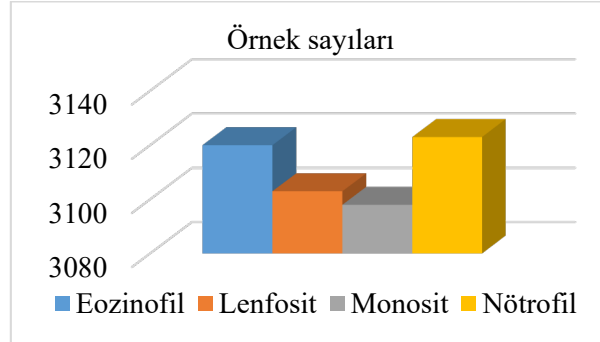
Beyaz Kan Hücreleri (BKH) insan vücudunu yabancı maddelere ve bulaşıcı hastalıklara karşı koruyan ve bunların neden olduğu enfeksiyonlara karşı savaşmasına yardımcı olan en önemli bağışıklık sistemi elemanlarıdır. Lökosit veya akyuvarlar olarak da bilinen beyaz kan hücreleri insan vücudunda bulunan bir kan bileşenidir [1]. Sağlıklı bir bireyin kanında ortalama 4000 ile 10000 arasında BKH bulunmaktadır. Kanın küçük bir bölümünü oluşturan ve bakteri, virüs ve mikroplara karşı savaşan lökositler, vücuda yabancı bir madde girdiğinde hızla çoğalır ve daha sonra damardan ayrılarak ilgili dokuya ulaşırlar [2]. Bu dokulardaki lökosit sayısı, sağlıklı bir kan örneğinden çok daha fazla olmaktadır. Tıpta kan hücreleri içerisinde beyaz kan hücrelerinin varlığı çeşitli hastalık türlerinin göstergesi olarak kabul edilmektedir [3]. Beyaz kan hücreleri, özellikle lösemi, kanser, hemoliz, hormon bozuklukları ve bazı enfeksiyon hastalıkları gibi hastalıkların tanısında bir parametre haline gelmiştir [4]. İnsan vücudundaki BKH'ne bağlı bozukluğunun bazı belirtileri şunlardır; hızlı kilo kaybı, halsizlik, yorgunluk ve buna bağlı olarak kronik enfeksiyonlar oluşabilmekte veya bu durum farklı hastalıkları tetikleyebilmektedir [5]. Bu gibi durumlarda her hastalıkta olduğu gibi BKH'ne bağlı bozuklukların da erken teşhisi hayati önem taşımaktadır. Bu olguların klinik muayenesinde kullanılan en yaygın tanı yöntemi hastaların mikroskopik görüntülerini alarak uzman doktorlar tarafından bu görüntülerin incelenmesidir [6]. Şekil 1'de gösterildiği üzere BKH Eozinofil, Lenfosit, Monosit ve Nötrofil olmak üzere dört farklı sınıfa ayrılmıştır. Farklı tipte BKH mikroskopik görüntüleme kullanılarak tespit edilebilmektedir. Ancak bu durum, BKH'nin tipi ve kandaki oranına bağlı olarak izlenecek prosedür, doktorun tecrübe ve bilgisine bağlıdır [7].



Şekil 1. BKH veri kümesi türleri

Derin öğrenme (DÖ), yapay zekânın en popüler alt dallarından biri haline gelmiştir. DÖ'de kullanılan çok sayıda mimari bulunmaktadır. Büyük veri setlerinin kullanımında özellikle sınıflandırma işleminde başarılı olan DÖ ağları incelenmiştir [8]. Bu çalışmada farklı lökosit türleri olan Eozinofil, Lenfosit, Monosit, Nötrofil sınıflandırılması için ESA modelleri kullanılmıştır. Bu bakımdan, farklı türdeki BKH tiplerinin mikroskopik görüntülerini kullanarak doğru bir şekilde hızlıca tespit edilmesi amaçlanmıştır [9]. Bu yaklaşımda, özellik seçimi önemlidir. DÖ modellerinden elde edilen öznelik setleri üzerinden öznelik seçim yöntemleri kullanılarak daha verimli özneliklerin seçilmesi sağlanmıştır [10]. Özellik çıkarım işlemi için Densenet201, ResNet50 ve Alexnet mimarileri kullanılmıştır. Bu üç mimarinin çıkarmış oldukları özellik haritaları birbirlerinden farklıdır. Bundan dolayı bu 3 mimarinin deneyiminden faydalanılarak elde edilen özellik haritaları birleştirilmiştir. Elde edilen bu özellik haritaları Komşuluk Bileşen Analizi (KBA) boyut indirgeme yöntemi kullanılarak optimize edildikten sonra K-En Yakın Komşuluk (KEK), Destek Vektör Makinesi (DVM) ve Naïve Bayes (NB) olmak üzere üç farklı klasik makine öğrenmesi sınıflandırıcısında sınıflandırılmıştır. Kullanılan veri setindeki her bir sınıfın içerdiği örnek sayıları Eozinofil için 3120, Lenfosit için 3103,

Monosit için 3098 ve Nötrofil için 3123'tür. Bu çalışmada kullanılan veri seti Kaggle platformundan elde edilmiştir ve içerdiği veri sayısı Şekil 2'de grafiksel olarak gösterilmiştir [11].



Şekil 2. BKH veri setinin her bir sınıftaki örnek sayısı

Bu makalenin geri kalanı aşağıdaki gibi organize edilmiştir. Bölüm 2'de BKH çalışmaları ile ilgili literatür taramasına yer verilmiştir. Bölüm 3'te veri seti ve önerilen yöntemler sunulmuştur. Bölüm 4'te deneysel sonuçlar açıklanmıştır. Bölüm 5'te sonuçlara yer verilmiştir.

2. İlgili Çalışmalar

Bu bölümde, veri seti, yöntemler ve performans ölçütleri dikkate alınarak BKH sınıflandırılmasına ilişkin literatürün bir özeti sunulmaktadır. Literatürde BKH tipini sınıflandırmak amacıyla yapılmış birçok yaklaşıma rastlanmaktadır. Bu yaklaşımlar arasında en popüler olanları Makine Öğrenmesi (MÖ), DÖ, Bulanık Mantık ya da hepsinin bir karışımı şeklindedir.

Singh vd., BKH sınıflandırması için bir ESA modeli önermiştir [12]. ESA modeli 200 iterasyon kullanılarak eğitilmiştir. Ma vd., doğruluk değerini artırmak amacıyla ResNet ve DC-GAN'ı birleştirerek bir sınıflandırıcı oluşturmuştur [13]. Şengür vd., beyaz kan hücrelerini sınıflandırmak için ESA yönteminin uygulandığı bir çalışmada HSV uzayındaki kan hücresi görüntülerinden “İlk İlgü Bölgesinin” (İİB) çıkarıldığı bir BKH sınıflandırma yaklaşımını önermiş ve ardından ResNet50 kullanarak özellik çıkarımı yapmıştır [14]. Çalışmada özellik çıkarımı, Temel Bileşen Analizi (TBA) yöntemiyle, sınıflandırma ise UKSB sınıflandırıcısı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu yaklaşımla, % 85,7'lik bir doğruluğa ulaşılmıştır. Aynı veri setini kullanan Patil vd., ise doğruluk değerini artırmak için Kanonik Korelasyon Analizi (KKA) yöntemini kullanmıştır [15, 16]. Çalışmada görüntü içeriğinin anlaşılmasını zenginleştirmek için ESA ve TSA modelleri birleştirilerek kullanılmıştır.

Çınar vd., bir çalışmada BKH'lerin sınıflandırılması için DÖ tabanlı Hibrit ESA modeli önerilmiştir. Sunulan model, önceden eğitilmiş Alexnet ve Googlenet mimarilerine dayanmaktadır. Her iki CNN mimarisinin son havuzlama katmanındaki özellik vektörü birleştirilmiş ve elde edilen özellik vektörü, Destek Vektör Makinesi tarafından sınıflandırılmıştır. [17]. Bir diğer çalışmada Sharma vd., BKH sınıflandırmak için DenseNet121 modelini kullanan bir derin öğrenme DÖ modeli uygulamıştır. Bu model %98.84 doğruluk, %99.33 kesinlik, %98.85 hassasiyet ve %99.61 özgüllük vermiştir [18].

Ayrıca Girdhar vd., tarafından yapılan bir çalışmada da BKH tipini diğer yaklaşımlardan çok daha az iterasyonla sınıflandırabildiği belirtilen bir ESA yaklaşımı önerilmiştir [19]. Yu vd., yılında yaptıkları çalışmada BKH sınıflandırması için ResNet50, Inception V3, VGG16, VGG19, Xception yazılımlarını kullanmış ve diğer sınıflandırma yöntemleri arasından % 88.5'lik doğruluk oranıyla en yüksek değerin ESA yöntemiyle elde edildiğini belirtmiştir [20]. Macawile vd. ise ESA tekniklerinden GoogleNet, Alexnet ve ResNet-101 yazılımlarını yine BKH sınıflandırması için kullanmış ve %96.63 değerinde bir ortalama doğruluk değeri elde etmiştir [21].

Zhao vd., BKH verileri için otomatik bir algılama ve sınıflandırma yöntemi sunmuştur [22]. Çalışmada mikroskop görüntüleri incelenmiş, kırmızı, yeşil, mavi (RGB) ve bu renklerin ara renkleri

arasında bağlantı kurularak BKH tipleri belirlenmiştir. Öznitelik üretmek için ESA modelinin kullanıldığı çalışmada sınıflandırma doğruluğu % 92,6 ile sınırlı kalmıştır.

Razzak vd., BKH veri setini kullanarak segmentasyon ve sınıflandırma yapmış, sınıflandırma basamağında Extreme Machine Learning (EML) yöntemini [23] ESA ile birlikte kullanmıştır [24]. Parçalı hücre görüntüleri, özellik çıkarma aşamasından önce maskelenmiştir. Öznitelikler daha sonra her parçalı hücreden çıkarılmış ve %95.1 başarı oranı ile sınıflandırma yapılmıştır.

Hegde vd., yaptıkları çalışmada hem geleneksel görüntü sınıflandırmasını hem de ESA kullanmış ve bu iki yaklaşımın sonuçlarını karşılaştırmıştır [25]. Elde edilen sonuçlar benzer olmakla birlikte; geleneksel yöntemin, büyük ölçüde segmentasyona ve özellik çıkarımına dayandığı, ESA'nın ise bu parametrelere bağlı olmadığı ifade edilmiştir. Bununla birlikte, ESA yaklaşımının büyük miktarda etiketlenmiş veri gerektirdiği ve geleneksel görüntü işlemenin bu tür zorunlulukları olmadığına da değinilmiştir. İlgili çalışmalar dikkate alındığında önceden eğitilmiş ESA modelleri, farklı BKH türlerini ayırmak için kullanışlı bir araç olarak gösterilmiştir.

3. Materyal ve Metot

Bu bölümde önerilen yöntemin deneysel sonuçları için kullanılan veri seti, verilerin özellikleri, DÖ, ESA ve ESA modelleri anlatılmaktadır. Uygulanan veri ön işleme adımları ve filtreler hakkında bilgi verilmektedir. Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde DÖ ağları ve DÖ modellerinden yararlanılmaktadır.

3.1. BKH Veri Kümesi

Bu çalışmada kullanılan BKH veri kümesi açık erişimle genel olarak paylaşımına sunulmaktadır ve bu veri seti Eozinofil, Lenfosit, Monosit ve Nötrofil olmak üzere dört ayrı kategoriye ayrılmıştır. Şekil 2'de grafiksel olarak gösterildiği üzere bu veri kümesi 3.120 Eozinofil, 3.103 Lenfosit, 3.098 Monosit ve 3.123 Nötrofil mikroskobik görüntü örneklerinden oluşmaktadır.

BKH veri kümesi toplamda 12.444 adet .Jpeg formatında kaydedilmiş örnek kan hücresi görüntülerinden oluşmaktadır. Her bir görüntü örneği 24 bit derinliğe sahip olmakla birlikte piksel çözünürlüğü 320×240 boyutlarındadır. Bu veri kümesine ait her bir örnek deneyimli uzmanlar tarafından incelenerek etiketlenmiştir [11]. Veri kümesindeki örneklerinin etkili ve verimli kullanımı için her bir sınıftaki veri sayısı rastgele seçilerek ve eşit tutularak 3000 görüntüye ayarlanmıştır. Bu bakımdan deneysel sonuçlar için dört ayrı sınıfta toplamda kullanılan veri sayısı 12000 olmuştur. Bunun yanında veri kümesi eğitim ve test kümesi olarak sırasıyla %70 ve %30 oranlarında iki kısma ayrılmıştır.

3.2. Evrişimli Sinir Ağı (ESA) ve Modelleri

DÖ, insan beyninin yapısı ve çalışma şekline esinlenerek Yapay Sinir Ağları (YSA) olarak adlandırılan algoritmaların modellendiği makine öğreniminin bir alt dalıdır [26]. DÖ, görüntü, video, sinyal ve doğal dil işleme, robotik, kimya, reklam, arama motorları, finans gibi birçok alanda yapılan sınıflandırma işlemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Derin öğrenmeyi geleneksel YSA'lardan ayıran en önemli özelliklerden bir tanesi birden çok katmanla çalışabilmesidir. YSA'lara ait her bir hücre, önceki ve sonraki katmanlardaki tüm hücrelere bağlı olarak çalışmaktadır ve her bir katmanda çok sayıda matematiksel işlem yerine getirilmektedir. Bu nedenle bu yaklaşımda veri miktarı ve katman sayısının artmasıyla yüksek miktarda CPU gücüne ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle son birkaç yıldır DÖ için GPU tabanlı ve yüksek bellekli işlemciler tercih edilmektedir. DÖ için kullanılan birden çok ağ türü bulunmaktadır. Bu ağlar, ESA, Uzun-Kısa Süreli Bellek ağları (UKSB), Sınırlı Boltzman Makineleri (SBM), Tekrarlayan Sinir Ağları (TSA) ve Derin Otomatik Kodlayıcılar (DOK) olarak sınıflandırılabilir [27].

Son yıllarda adından sıkça söz ettiren ESA, görüntü sınıflandırma gibi en yaygın kullanılan DÖ ağlarından biridir ve bu çalışmada ESA kullanılmıştır. ESA ağlarının kökeni yapay sinir ağlarına dayanmaktadır. Yapay sinir ağlarında gizli katman sayısı arttıkça ağın karmaşıklığı da artmakta ve ağdan daha iyi sonuçlar alınabilmektedir. ESA ağlarında kullanılan katman sayısı oldukça fazladır. Bunlardan Konvülsiyonel, Havuzlama, Tam Bağıntılı, Rectified Linear Unit (Relu), Seyreltme (Dropout), Normalleştirme ve Softmax katmanları genellikle kullanılmaktadır [28].

DÖ'de yaygın olarak kullanılan birçok model bulunmaktadır. Bu çalışmada ESA'da yaygın olarak kullanılan Densenet201, ResNet50 ve Alexnet modelleri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılarak yorumlanmaktadır.

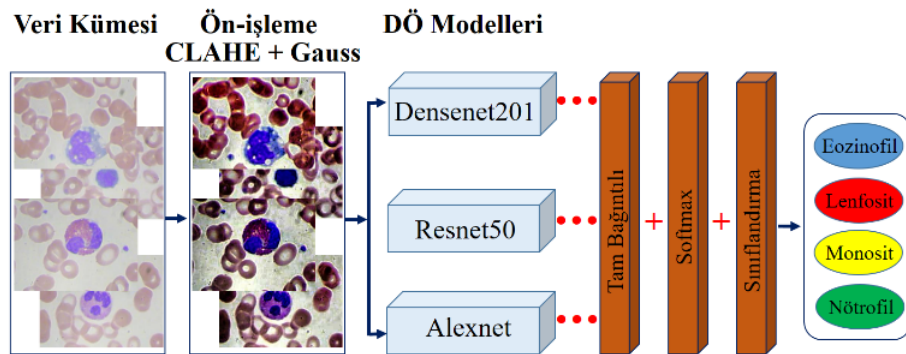
DenseNet-201, ImageNet veritabanından bir milyondan fazla görüntü üzerinde eğitilmiş bir ESA modelidir. Çeşitli görüntüler için zengin özellik temsillerini öğrenebilen katman derinliğine sahiptir. Modelin önemli bir avantajı, gelişmiş bilgi akışı ve daha iyi parametre verimliliği ile birlikte onları ağ üzerinden eğitmeyi kolaylaştıran bir gradyana sahip olmasıdır [29].

ResNet50 son yıllarda geliştirilen en başarılı ESA'lardan biridir. Bu model geliştirdiği yeni bir yaklaşım ile 1000 katman sınırını aşan ilk ESA modeli olarak 2015 yılında sınıflandırma, segmentasyon ve tespit gibi çeşitli alanlarında ILSVRC yarışmasını kazanmıştır. Sınıflandırma hata oranı ortalama bir insanda %5 olmasına karşın modelde ortalama %3,6 olarak test edilmiştir. Bu durum modelin başarısını net olarak ortaya koymaktadır. Bununla birlikte birçok ardışık modele öncülük etmiş ve çeşitli uygulamalarda, özellikle sınıflandırmada bu model kullanılmıştır [30].

AlexNet modeli ILSVRC yarışmasının 2012 yılı galibidir ve DÖ yaklaşımını yeniden popüler hale getiren bir modeldir. Bu model görüntü tanımadaki hata oranını %26 civarından yaklaşık %15 seviyelerine düşmüştür. Bu model LeNet mimarisine çok benzemektedir ve her iki mimaride de ardışık konvülsiyonel ve havuzlama katmanlarının varlığından dolayı, lineer olmayan fonksiyonlar için Relu aktivasyon fonksiyonu kullanılmaktadır [31].

CLAHE yöntemi, tıbbi görüntü iyileştirme sistemleri için geliştirilmiş, homojen alanlarda üretilen gürültüyü azaltmaya çalışan bir filtreleme ve histogram eşitleme yöntemidir [32]. Elde edilen doğruluk sonuçları ile kullanılan bu sayısal görüntü ön-ışleme tekniğinin, daha önce ESA tarafından tespit edilemeyen evrimsel filtreler aracılığıyla hassas nokta özneliklerinin daha iyi algılanmasını sağladığı görülmüştür. Daha sonra, fundoskopik görüntülerdeki gürültüleri yumuşatmak için Gauss çekirdeklerine dayalı morfolojik filtreleme kullanılmıştır. Morfolojik filtreleme, geometrilerini deforme etmeden vurgulamak için kan hücrelerinin rengini iyileştirmeyi amaçlamaktadır.

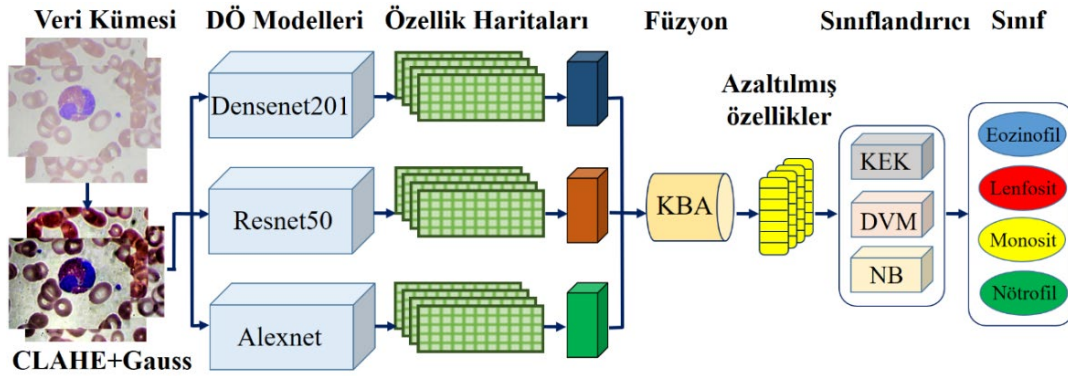
Gauss filtresi, belirli bir görüntüyü yumuşatmak için kullanılmaktadır. Yani resimdeki gürültüyü ortadan kaldırmakta ve resmi daha anlamlı hale getirmektedir. Gauss filtresine sahip bir resimde önce komşuluk matrisi oluşturulmaktadır. Bu matrisin boyutu, Gauss filtre işlemindeki komşuluk değerine bağlıdır. Özetle, Gauss filtresi resimdeki sert ton değişikliklerini azaltarak görüntüyü daha yumuşak hale getirmektedir [33].



Şekil 3. Verilerin ön-ışlemlenmiş mimariler ile sınıflandırılması

BKH veri setine ait görüntüler MatlabR2019b ortamı kullanılarak sınıflandırılmıştır ve elde edilen deneysel sonuçlar karşılaştırılmaktadır. Bu aşamada hem Densenet201, ResNet50 ve Alexnet DÖ modellerinden yararlanılmış hem de işlenen verilerden elde edilen sonuçlar orijinal sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Orijinal verilerle birlikte CLAHE ve Gauss filtreleri uygulanarak ön-işlenen bu görüntüler yine bu üç ESA ağı ile yeniden sınıflandırılmıştır. Geleneksel ESA modelleriyle sınıflandırma yaklaşımının akış şeması Şekil 3'te verilmiştir. Uygulamanın CLAHE ve Gauss filtreleri ile ön-işleme yapıldıktan sonraki akış şeması Şekil 4'te gösterildiği gibidir.

Komşuluk Bileşenleri Analizi (KBA), sınıflandırma performansını en üst düzeye çıkarmak için girdi verilerinin doğrusal dönüşümünü kullanan bir uzaklık metriğini öğrenme yöntemidir. Bu analiz amaçlı, gelecekteki test verileri üzerindeki performansı optimize etmektir, ancak gerçek veri dağılımı bilinmediğinden, bunun yerine eğitim verilerindeki performansı optimize edilmeye çalışılır. Bu yöntem rastgele bir uzaklık metriği belirlemek yerine lineer dönüşümü bulmakta ve KBA algoritması bu metriği kendisi öğrenmektedir. Temel Bileşen Analizinin (TBA) aksine, KBA denetimsiz bir öğrenme yöntemi değildir. Tahmin işlemini yaparken “T” yani hedef değerlere ihtiyaç duymaktadır [34].



Şekil 4. Önerilen yöntemde kullanılan modellerin mimarisi

Elde edilen özellik haritalarının sınıflandırılması için KEK, DVM ve NB olmak üzere üç farklı klasik makine öğrenmesi sınıflandırıcısı kullanılmıştır. DÖ ile eğitilen Kaggle veri kümesi görüntülerine CLAHE ve Gauss filtreleri uygulanarak bu görüntüler üç ESA ağı ile yeniden sınıflandırılmıştır.

4. Deneysel Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada deneysel sonuçlardan elde edilen sonuçların karşılaştırılması için Kaggle veri kümesinden alınan BKH veri seti kullanılmıştır. Veri kümesi 4 farklı lökosit hücresi sınıfından oluşmaktadır. Her sınıfta 3000 adet veri örneği bulunmaktadır. Toplamda deneyler sırasında 12000 örnekten oluşan bir veri kümesi kullanılmıştır.

Bu bölümde sırasıyla Densenet201, ResNet50 ve Alexnet mimarilerinden doğruluk metriği bakımından elde edilen deneysel sonuçlara yer verilmiştir. Bu bakımdan Densenet201 mimarisiyle elde edilen hem doğrudan orijinal veriler üzerinden hem de ön-işleme (CLAHE, Gauss Filtresi) yapılan verilere ait sonuçlar Çizelge 1'de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Densenet201 mimarisinin test sonuçları.

Densenet201 Karışıklık Matrisi				
Orijinal Veri Kümesi				
	1	2	3	4
1	0,4890	0,3006	0,0718	0,1884
2	0,0045	1	0,0045	0
3	0	0,1077	0,9243	0,0179
4	0,0313	0,1750	0,0268	0,8166

Doğruluk: %80,75				
CLAHE ve Gauss Filtreli Veri Kümesi				
	1	2	3	4
1	0,8212	0,0268	0,0089	0,1929
2	0,0673	0,9333	0,0134	0,0359
3	0,0897	0,0089	0,9199	0,0313
4	0,1794	0,0359	0,0045	0,8301
Doğruluk: %87,61				

ResNet50 mimarisıyla elde edilen hem doğrudan orijinal veriler üzerinden hem de ön-işleme (CLAHE, Gauss Filtresi) yapılan verilere ait sonuçlar Çizelge 2’de gösterilmiştir.

Çizelge 2. Resnet50 mimarisinin test sonuçları.

ResNet50 Karışıklık Matrisi				
Orijinal Veri Kümesi				
	1	2	3	4
1	0,7852	0,0089	0,0045	0,2512
2	0,0941	0,8121	0,0134	0,1300
3	0,1256	0,0134	0,8032	0,1166
4	0,1121	0,0224	0,0089	0,9063
Doğruluk: %82,67				
CLAHE ve Gauss Filtreli Veri Kümesi				
	1	2	3	4
1	0,7179	0,1480	0,1032	0,0807
2	0,0268	0,9872	0,0268	0,0089
3	0,0045	0,0359	1	0
4	0,1346	0,1211	0,1705	0,6237
Doğruluk: %83,22				

Alexnet mimarisıyla elde edilen hem doğrudan orijinal veriler üzerinden hem de ön-işleme (CLAHE, Gauss Filtresi) yapılan verilere ait sonuçlar Çizelge 3’te gösterilmiştir.

Çizelge 3. Alexnet mimarisinin test sonuçları.

Alexnet Karışıklık Matrisi				
Orijinal Veri Kümesi				
	1	2	3	4
1	0,7224	0,1391	0,1436	0,0448
2	0,1256	0,7987	0,0045	0
3	0,0179	0,0359	0,9961	0
4	0,1660	0,1480	0,1705	0,5654
Doğruluk: %77,06				
CLAHE ve Gauss Filtreli Veri Kümesi				
	1	2	3	4
1	0,7269	0,0359	0,1660	0,1211
2	0,0179	0,9737	0,0404	0,0179
3	0	0	1	0
4	0,1525	0,0313	0,1660	0,7000
Doğruluk: %85,01				

Densenet201 mimarisinde orijinal veriler kullanılarak BKH’i sınıflandırmada %80,75 doğruluk sonucuna ulaşılmıştır. Görüntülere CLAHE ve Gauss filtresi uygulandıktan sonra doğruluk oranı aynı mimaride %87,61’e yükselmiştir. ResNet50 mimarisinde orijinal veriler kullanılarak BKH’i sınıflandırmada %82,67 doğruluk sonucuna ulaşılmıştır. Görüntülere CLAHE ve Gauss filtresi uygulandıktan sonra doğruluk oranı aynı mimaride %83,22’e yükselmiştir. Alexnet mimarisinde orijinal

veriler kullanılarak BKH'i sınıflandırmada %77,06 doğruluk sonucuna ulaşılmıştır. Görüntülere CLAHE ve Gauss filtresi uygulandıktan sonra doğruluk oranı aynı mimaride %85,01'e yükselmiştir. Bu bakımdan kullanılan bu morfolojik filtrelemelerin sınıflandırmanın doğruluk sonuçlarına olumlu katkıda bulunduğu gösterilmiştir.

DeneySEL sonuçların bu üç DÖ modelleriyle elde edilen doğruluk değerleri Çizelge 4'te özetlenmiştir.

Çizelge 4. Mimarilerin doğruluk sonuçları.

	Orijinal	CLAHE+Gauss
Densenet201	%80,75	%87,61
ResNet50	%82,67	%83,22
Alexnet	%77,06	%85,01

ResNet50 mimarisi, orijinal verilerin kullanıldığı sınıflandırmada en yüksek doğruluğu %82,67 ile elde etmiştir. Bunu %80,75 ile Densenet201 mimarisi ve %77,06 ile Alexnet mimarisi izlemiştir.

Morfolojik filtreler uygulandıktan sonra DenseNet201 mimarisi %87,61 ile en yüksek doğruluğu elde etmiştir. DenseNet201'i sırasıyla %85,01 ile AlexNet ve %83,22 ile ResNet50 izlemiştir.

4.1. Önerilen Özellik Çıkarıcı ESA Modeli

Önerilen modelin sınıflandırma performansı, doğruluk performans ölçütü aracılığıyla test edilmiştir. Bu performans ölçütünün matematiksel formülasyonu denklem (1)'de verilmiştir.

$$\text{Doğruluk} = \frac{DP+DN}{DP+YP+DN+YN} \times 100 \quad (1)$$

Çıktı Sınıf	Negatif	Doğru Negatif (DN)	Yanlış Negatif (YN)
	Pozitif	Yanlış Pozitif (YP)	Doğru Pozitif (DP)
		Negatif	Pozitif

Hedef Sınıf

Şekil 5. Karışıklık matrisi

Denklem (1)'de verilen Doğru Pozitif (DP), Doğru Negatif (DN), Yanlış Pozitif (YP) ve Yanlış Negatif (YN) gibi değerler karışıklık matrisi kullanılarak hesaplanmaktadır. Karışıklık matrisi Şekil 5'te verilmiştir. DeneySEL sonuçlar Intel Core i7 işlemci, 8 Gb Ram ve NVidia GeForce GTX 1060 ekran kartına sahip bir donanım üzerinden simüle edilmiştir.

Bu çalışmada öznelik çıkarıcı olarak birer ESA mimarileri kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan ESA modellerinde tercih edilen önemli parametre bilgileri şu şekildedir; AlexNet'in filtre boyutu 3×3 piksele ayarlanmıştır, adım sayısı 2 ve maksimum havuzlama tercih edilmiştir. ResNet50 modelinin filtre boyutu 7×7 piksel olarak ayarlanmıştır, adım sayısı 2 ve seçilen havuzlama türü maksimum olmuştur. Ayrıca ResNet50 için girdi katmanlarının boyutları 224×224 piksel olarak ayarlanmıştır. Ayrıca eğitim sırasında ESA'lar transfer öğrenme yaklaşımı olmadan eğitilmiştir.

Önceden eğitilmiş, literatürde kabul gören 3 mimari kullanılarak veri setindeki görüntülerin özellik haritaları çıkartılmıştır. Özellik çıkarım işlemi için Densenet201, ResNet50 ve Alexnet mimarileri kullanılmıştır. Bu üç mimarinin çıkarmış oldukları özellik haritaları birbirlerinden farklıdır. Bundan dolayı bu 3 mimarinin deneyiminden faydalanılarak elde edilen özellik haritaları birleştirilmiştir. Özellik çıkarımı yapılırken Densenet201 ile ResNet50'nin FC-1000 katmanı ve AlexNet modelinin FC-8 katmanı kullanılmıştır. Her bir mimaride elde edilen özellik haritasının boyutu 21000×1000'dir. Özellik birleştirme işleminden sonra elde edilen yeni özellik haritasının boyutu 21000×3000 olmuştur. Birleştirme işleminden sonra elde edilen özellik haritası KBA boyut indirgeme

yöntemi kullanılarak optimize edildikten sonra elde edilen yeni özellik haritasının boyutu 21000x250 olmuştur. Son olarak elde edilen yeni özellik haritası 3 farklı makine öğrenmesinde sınıflandırılmıştır. Önerilen hibrit model Şekil 4’te kabaca gösterilmiştir. Bilinen ESA modellerinin ve önerilen hibrit modelin elde ettiği doğruluk değerlerine ait sonuçlar Çizelge 5’te gösterilmiştir.

BKH dört türüne ait sınıflandırmanın karışıklık matrisi Şekil 6’da gösterilmektedir. Karışıklık matrisinin satırları tahmin edilen çıktı sınıfını ve sütunlar gerçek çıktı sınıfını göstermektedir. Kırmızı renkli sütunlar uyumsuzlukları, yeşil renkli kutular ise doğru eşleşen etiketleri göstermektedir. Kan yayma görüntülerinin temel gerçeği, hedef sınıf olarak etiketlenirken, tahmin edilen çıktı sınıfı, karışıklık matrisinde etiket çıktı sınıfı ile gösterilmiştir. Nötrofillerin 12 görüntüsü hatalı şekilde Eozinofil olarak etiketlendiğinden, Nötrofillerin etiketlenmesi durumunda maksimum uyumsuzluklar bulunmaktadır.

Karışıklık Matrisi

Çıktı Sınıf	Eozinofil	288 %24.0	0 %0.0	0 %0.0	12 %1.0	%96.0 %4.0
	Lenfosit	10 %0.8	290 %24.2	0 %0.0	0 %0.0	%96.7 %3.3
	Monosit	0 %0.0	6 %0.5	294 %24.5	0 %0.0	%98.0 %2.0
	Nötrofil	2 %0.2	0 %0.0	5 %0.4	293 %24.4	%97.7 %2.3
		%96.0 %4.0	%98.0 %2.0	%98.3 %1.7	%96.0 %4.0	%97.1 %2.9
		Eozinofil	Lenfosit	Monosit	Nötrofil	
		Hedef Sınıf				

Şekil 6. BKH dört sınıfı için karışıklık matrisi

Çizelge 5. Modellerin sınıflandırma doğruluk sonuçları.

ESA Mimarisi	Sınıf sayısı	Özellik sayısı	Doğruluk %
Densenet201	4	1000	95,43
ResNet50	4	1000	94,83
Alexnet	4	1000	92,40
Densenet201, ResNet50, Alexnet	4	3000	95,45
Önerilen Model	4	250	97,10

Önerilen yaklaşımda, BKH sınıflandırması için öznitelik seçim yöntemleri bilinen ESA modelleriyle kombinasyonu değerlendirilmiştir. Önerilen yaklaşımla Densenet201, ResNet50 ve AlexNet mimarilerinin 1000 özellikli katmanlarından elde edilen öznitelikler birleştirilmiştir. Birleştirilmiş öznitelik kümesindeki öznitelikler KBA füzyon yöntemi ile indirgenmiştir. Birleştirilen öznitelik setlerinin sınıflandırma sonuçlarına katkı sağladığı görülmüştür. Burada birleştirilen özniteliklerinin tek öznitelik seçme yönteminden daha başarılı olduğu kanıtlanmıştır. Birleştirilen özniteliklerin elde ettiği doğruluk değeri %95,45 değeri ile en yüksek tek öznitelik yöntemi olan Densenet201’in elde ettiği %95,43 doğruluk değerinden daha yüksektir. Deneysel sonuçlar, öznitelik seçiminde kullanılan KEK, DVM ve NB, MÖ yöntemleri ile yapılan sınıflandırma sonucunda 250 öznitelik ile elde edilen genel doğruluk oranının %97,10 olduğunu göstermektedir.

Çizelge 5, önerilen ESA modelinin, mevcut ESA teknikleri ve birleşimlerinden elde edilen sınıflandırma doğruluk oranlarını göstermektedir. Tasarlanan ESA modelinin doğruluk açısından diğer yaklaşımlardan daha iyi performans gösterdiği görülmektedir.

5. Sonuçlar

Bu çalışmada, son yıllarda adından çok söz ettiren DÖ, DÖ katmanları ve DÖ modelleri sınıflandırma açısından incelenmektedir. Öncelikle lökosit kan hücresini oluşturan Eozinofil, Lenfosit, Monosit ve Nötrofil hücreleri Matlab uygulama ortamında Densenet201, Resnet50 ve Alexnet mimarileri kullanılarak sınıflandırılmıştır. Daha sonra veri tabanındaki örneklere CLAHE ve Gauss filtreleri uygulanmıştır. Yeni görüntüler aynı mimariler kullanılarak yeniden sınıflandırılmıştır. Görüntülere filtreler uygulandıktan sonra elde edilen sonuçların, orijinal verilerle elde edilen sonuçlardan daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Densenet201 bu çalışmada kullanılan ESA modelleri arasında %95,43 doğruluk değeri ile en yüksek tek öznitelik yaklaşımı olmuştur. Birleştirilen özniteliklerin elde ettiği doğruluk değerinin %95,45 ile daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Önerilen hibrit yöntemin ise elde ettiği genel doğruluk oranı %97,10 ile en yüksek sonuca ulaşmıştır. DÖ modelleri büyük veri tabanlarıyla çalıştığı için ağırları eğitmek ve test etmek uzun zaman almaktadır. Gelecekte bu hız sorununu aşmak için GPU tarzı kartlar tercih edilerek hız sorunu en aza indirilebilir.

Kaynaklar

- [1] Fan H, Zhang F, Xi L, Li Z, Liu G, Xu Y. LeukocyteMask: An automated localization and segmentation method for leukocyte in blood smear images using deep neural networks. *Journal of biophotonics* 2019; 12(7): 201800488.
- [2] Janjua HU, Akhtar M, Hussain F. Effects of sugar, salt and distilled water on white blood cells and platelet cells: A review. *Journal of Tumor* 2016; 4(1): 354-358.
- [3] Wang Q, Bi S, Sun M, Wang Y, Wang D, Yang S. Deep learning approach to peripheral leukocyte recognition. *PloS one* 2019; 14(6): 0218808.
- [4] Kabat GC, Kim MY, Manson JE, Lessin L, Lin J, Wassertheil-Smoller S, Rohan TE. White blood cell count and total and cause-specific mortality in the Women's Health Initiative. *American journal of epidemiology* 2017; 186(1): 63-72.
- [5] Fest J, Ruiters R, Ikram MA, Voortman T, van Eijck CH, Stricker BH. Reference values for white blood-cell-based inflammatory markers in the Rotterdam Study: a population-based prospective cohort study. *Scientific reports* 2018; 8(1): 1-7.
- [6] Torre LA, Islami F, Siegel RL, Ward EM, Jemal A. Global cancer in women: burden and trends. *Cancer Epidemiology and Prevention Biomarkers* 2017; 26(4): 444-457.
- [7] Weitkamp E, Mermikides A. Medical performance and the 'inaccessible' experience of illness: an exploratory study. *Medical humanities* 2016; 42(3): 186-193.
- [8] Sajjad M, Khan S, Jan Z, Muhammad K, Moon H, Kwak JT, Rho S, Baik SW, Mehmood I. Leukocytes classification and segmentation in microscopic blood smear: a resource-aware healthcare service in smart cities. *IEEE Access* 2016; 5: 3475-3489.
- [9] Sharma M, Bhave A, Janghel RR. White blood cell classification using convolutional neural network. In *Soft Computing and Signal Processing* 2019; Springer: 135-143.
- [10] Wang JL, Li AY, Huang M, Ibrahim AK, Zhuang H, Ali AM. Classification of white blood cells with patternnet-fused ensemble of convolutional neural networks (pecnn). *IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology (ISSPIT)* 2018; 325-330.
- [11] Mooney P. Blood Cell Images. 2018 (Erişim: 07.02.2022), <https://www.kaggle.com/paultimothymooney/blood-cells>
- [12] Rojas I, Valenzuela O, Rojas F, Ortuño F. *Bioinformatics and Biomedical Engineering: 7th International Work-Conference. Proceedings* 2019; Part I. (11465).
- [13] Ma L, Shuai R, Ran X, Liu W, Ye C. Combining DC-GAN with ResNet for blood cell image classification. *Medical & biological engineering & computing* 2020; 58(6): 1251-1264.

- [14] Şengür A, Akbulut Y, Budak Ü, Cömert Z. White blood cell classification based on shape and deep features. *International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium (IDAP) 2019*; 1-4.
- [15] Patil AM, Patil MD, Birajdar GK. White blood cells image classification using deep learning with canonical correlation analysis. *IRBM 2021*; 42(5): 378-389.
- [16] Hotelling H. Relations between two sets of variates. *Breakthroughs in statistics 1992*; 162-190.
- [17] Çınar A, Tuncer SA. Classification of lymphocytes, monocytes, eosinophils, and neutrophils on white blood cells using hybrid Alexnet-GoogleNet-SVM. *SN Applied Sciences, 2021*; 3(4), 1-11.
- [18] Sharma S, Gupta S, Gupta D, Juneja S, Gupta P, Dhiman G, Kautish S. Deep learning model for the automatic classification of white blood cells. *Computational Intelligence and Neuroscience*; 2022.
- [19] Girdhar A, Kapur H, Kumar V. Classification of White blood cell using Convolution Neural Network. *Biomedical Signal Processing and Control 2022*; 71: 103156.
- [20] Yu W, Chang J, Yang C, Zhang L, Shen H, Xia Y, Sha J. Automatic classification of leukocytes using deep neural network. *12th international conference on ASIC (ASICON) 2017*: 1041-1044.
- [21] Macawile MJ, Quiñones VV, Ballado A, Cruz JD, Caya MV. White blood cell classification and counting using convolutional neural network. *3rd International conference on control and robotics engineering (ICCRE) 2018*: 259-263.
- [22] Zhao J, Zhang M, Zhou Z, Chu J, Cao F. Automatic detection and classification of leukocytes using convolutional neural networks. *Medical & biological engineering & computing 2017*; 55(8): 1287-1301.
- [23] Ming Y, Zhu E, Wang M, Ye Y, Liu X, Yin J. DMP-ELMs: Data and model parallel extreme learning machines for large-scale learning tasks. *Neurocomputing 2018*; 320: 85-97.
- [24] Imran Razzak M, Naz S. Microscopic blood smear segmentation and classification using deep contour aware CNN and extreme machine learning. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops 2017*: 49-55.
- [25] Hegde RB, Prasad K, Hebbar H, Singh BMK. Comparison of traditional image processing and deep learning approaches for classification of white blood cells in peripheral blood smear images. *Biocybernetics and Biomedical Engineering 2019*; 39(2): 382-392.
- [26] Chen H, Engkvist O, Wang Y, Olivecrona M, Blaschke T. The rise of deep learning in drug discovery. *Drug discovery today 2018*; 23(6): 1241-1250.
- [27] Kermany DS, Goldbaum M, Cai W, Valentim CC, Liang H, Baxter SL, McKeown A, Yang G, Wu X, Yan F, Dong J, Prasadha MK, Pei J, Ting MYL, Zhu J, Li C, Hewett S, Dong J, Ziyar I, Shi A, Zhang R, Zheng L, Hou R, Shi W, Fu X, Duan Y, Huu VAN, Wen C, Zhang ED, Zhang CL, Li O, Wang X, Singer MA, Sun X, Xu J, Tafreshi A, Lewis MA, Xia H, Zhang K. Identifying medical diagnoses and treatable diseases by image-based deep learning. *Cell 2018*; 172(5): 1122-1131.
- [28] Molchanov P, Tyree S, Karras T, Aila T, Kautz J. Pruning convolutional neural networks for resource efficient inference. *arXiv preprint arXiv 2016*; 1611.06440.
- [29] Huang G, Liu Z, Van Der Maaten L, Weinberger KQ. Densely connected convolutional networks. *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition 2017*: 4700-4708.
- [30] He T, Zhang Z, Zhang H, Zhang Z, Xie J, Li M. Bag of tricks for image classification with convolutional neural networks. in *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition 2019*: 558-567.
- [31] Krizhevsky A, Sutskever I, Hinton GE. ImageNet classification with deep convolutional neural networks. *Advances in neural information processing systems 2017*; 60(6): 84-90.
- [32] Shahzad A, Raza M, Shah JH, Sharif M, Nayak RS. Categorizing white blood cells by utilizing deep features of proposed 4B-AdditionNet-based CNN network with ant colony optimization. *Complex & Intelligent Systems 2021*: 1-17.

- [33] Izanloo R, Fakoorian SA, Yazdi HS, Simon D. Kalman filtering based on the maximum correntropy criterion in the presence of non-Gaussian noise. Annual Conference on Information Science and Systems (CISS) 2016: 500-505.
- [34] Goldberger J, Hinton GE, Roweis S, Salakhutdinov RR. Neighbourhood components analysis. Advances in neural information processing systems 2004; 17.

DETERMINATION OF A FIELD HOSPITAL LOCATION WITH MCDM TECHNIQUES FOR COVID-19 AND ANY OTHER PANDEMICS IN FUTURE

G. Nilay YÜCENUR^{1*}

¹Beykent Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 34398, Türkiye

Geliş Tarihi/Received Date: 09.02.2022 Kabul Tarihi/Accepted Date: 18.07.2022 DOI: 10.54365/adyumbd.1070522

ABSTRACT

This study was carried out to improve, develop and support the health services that are insufficient in the rapid virus spread between the European Union countries. In this study, it is aimed to determine the location of a field hospital that will serve the patients of the European Union countries, especially the population most affected by the pandemic, in the case of the COVID-19 pandemic and the possible pandemics that may occur. A multi criteria decision model was proposed with 5 main and 20 sub-criteria in order to determine the location of a potential field hospital and six candidate European Union countries were evaluated according to these sub-criteria. In the solution phase of the problem two multi-criteria decision making methods are used in a sequence, firstly the importance weights of the selection criteria were determined with SWARA method and secondly the alternative countries were evaluated and ranked with EDAS method.

Keywords: COVID-19, pandemic, field hospital location, SWARA, EDAS.

COVID-19 VE GELECEKTEKİ DİĞER PANDEMİLER İÇİN ÇKKV TEKNİKLERİYLE BİR SAHRA HASTANESİNİN YERİNİN BELİRLENMESİ

ÖZET

Bu çalışma, Avrupa Birliği ülkeleri arasındaki hızlı virüs yayılımında yetersiz kalan sağlık hizmetlerinin iyileştirilmesi, geliştirilmesi ve desteklenmesi amacıyla yapılmıştır. Bu çalışmada, başta Avrupa Birliği ülkeleri olmak üzere COVID-19 pandemisi ve gelecekte olabilecek pandemi durumlarında pandemiden en çok etkilenen nüfusa hizmet verecek bir sahra hastanesinin yerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Potansiyel bir sahra hastanesinin yerini belirlemek için 5 ana ve 20 alt kriterli çok kriterli bir karar modeli önerilmiş ve altı aday Avrupa Birliği ülkesi bu alt kriterlere göre değerlendirilmiştir. Problemin çözüm aşamasında iki adet çok kriterli karar verme yöntemi sırayla kullanılmış, öncelikle SWARA yöntemi ile seçim kriterlerinin önem ağırlıkları belirlenmiş ve ikinci olarak EDAS yöntemi ile alternatif ülkeler değerlendirilmiş ve sıralanmıştır.

Anahtar Kelimeler: COVID-19, pandemi, sahra hastanesi konumu, SWARA, EDAS.

1. Introduction

Considering the researchers conducted in previous years and the reports published by scientists, it was predicted years ago that there will be more pandemics in the globalizing world and that these diseases will affect all societies indiscriminately. The severity of pandemics, where it is not possible to predict from which source, when and how they will arise due to their nature, is determined by how

*e-posta¹ : nilayyucenur@beykent.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2670-6277> (Sorumlu Yazar)

political decision-making mechanisms manage the situation and which health management tools they use.

With Covid-19, it has been seen that the countries', which are among the strongest in the world in terms of economic, social and military opportunities, power are in fact fragile in the face of any pandemic. In particular, according to health-based research, many countries that are highly confident in health systems and are expected to perform well due to this pandemic have brought into a question that how much they are reliable the existing health systems are with their performance. It is probable that in the post-pandemic period, all countries around the world will have to redesign their health systems and renew their planning based on their experiences in this process [1].

At this point, the inadequacy of existing health institutions, especially against the rapid virus spread in the COVID-19 pandemic, has revealed the need for a field hospital that will quickly protect especially the elderly population in this and future pandemics. This study was carried out to solve the problem of which of the European Union member countries this field hospital should be built in such a planning.

For the solution of the problem, a multi-criteria model consisting of 5 main and 20 sub-criteria was proposed based on literature research and expert opinions and with this proposed model 6 alternative European Union member countries were evaluated in terms of their suitability to this field hospital. The solution of the proposed research model within the scope of the study was carried out with Stepwise Weight Assessment Ratio Analysis (SWARA) and Evaluation Based on Distance from Average Solution (EDAS) methods, which have rapidly expanded their usage in solving multi criteria decision making (MCDM) problems.

The SWARA method, which is used especially in the criterion prioritization of location selection problems, was combined with the EDAS method for the same problem type in this study. When the studies in the literature are examined there are several location selection problems that used SWARA method: such as Agarwal et al. [2], Mostafaeipour et al. [3], Shao et al. [4], Ulutas et al. [5], and Popovic et al. [6]. Besides these, SWARA and EDAS methods has been used together in a similar subject only one study that was conducted by Mostafaeipour et al. [7].

On the other hand, studies in which solution methods are used together can be listed as follows in different research fields: Supciller and Toprak [8] selected the wind turbines, Dahooie et al. [9] identified and prioritized cost reduction solutions in supply chain management, Ghorabae et al. [10] evaluated the construction equipment, Juodagalviene et al. [11] determined the house's plan shape and Ghorabae et al. [12] evaluated the airlines service quality.

In the literature, it is possible to come across MCDM applications both for the pandemic and especially for the selection of facility location in the health sector. Samanlıoğlu and Kaya [13] evaluated the COVID-19 intervention strategies with hesitant F-AHP, Gül [14] used fermatean fuzzy set extensions of SAW, ARAS, and VIKOR in COVID-19 testing laboratory selection problem, Moradian et al. [15] selected the field hospital site with a Delphi consensus study and Aydın and Şeker [16] determined the location of isolation hospitals for COVID-19 via Delphi-based MCDM method. Moreover, according to Gül and Güneri [17] research AHP, GIS and ANP are the most used MCDM techniques for selection of the hospital location.

All researches conducted show that this study will contribute to the literature for the problem of selection a field hospital location in terms of the proposed research model it and the solution methods it uses. The study with this purpose will start with the COVID-19 pandemic and the latest situation of the pandemic in Europe, and will be concluded with information about the problem, solution methods and solution phase, respectively.

2. COVID-19 Pandemic and the Latest Situation in Europe

Pandemics or pandemic diseases are the general name given to pandemic diseases that spread and show their effects in a wide area such as a continent or even the whole world.

The new coronavirus is a type of virus that was detected with the symptoms of fever, cough and shortness of breath seen in a person in Wuhan, China in December 2019 and was declared as a result of researches as the Covid-19 pandemic on March 11, 2020 by World Health Organization [18]. Until the first quarter of 2021 the whole world struggled against COVID-19 for more than a year and still this struggle continues.

The coronavirus, which shows the feature of scattering through droplets that occur due to sneezing and cough, is passed from person to person by respiration and contact. With this rapid spreading feature, the virus spread to many countries around the world in a short time due to the high active population and international travels. According to the data of the World Health Organization, in the whole world there are 401,179,821 confirmed cases and 5,782,796 people who have died due to coronavirus [19].

The COVID-19 pandemic, as a health crisis, has negatively affected life almost all over the world and these negative effects still continue. Countries have postponed their summits, sports events, competitions, scientific congresses, educational activities and many other social events. People have stopped leaving their homes to avoid the virus pandemic. Despite all these preventions, the COVID-19 pandemic, unlike other pandemics in history, directly affected the elderly, 65 years of age and over, and continues to affect. Especially in countries where the average population age is high, health services have been insufficient due to the high rate of hospitalization and the loss of life has increased considerably for this reason.

Investigating at the death statistics due to the COVID-19 pandemic in some European countries, it is seen that the most people who lost their lives were 60 years and over. Until to March 15, 2021 the death of 60 years old and over rate is 93.29% in Italy, 96.35% in Germany, 92% in France, 71.5% in Poland, 96.47% in Sweden and 77.79% in Belgium [20].

Especially in European countries, the establishment of a field hospital that can serve all EU countries in order to prevent this high rate of loss of elderly population and to prevent insufficient health care is an essential need for COVID-19 and any other pandemics in the future.

3. Research Problem

For more than a year, the whole world has been fighting against the COVID-19 pandemic that has affected it. In this struggle, some countries have not been able to defend successfully themselves due to both their insufficient health infrastructure and the wrong strategies they have implemented, and a lot of lives have been lost in their countries because of COVID-19.

With the travel opportunities that have become easier in parallel with the globalization of the world, it is clear that any virus anywhere in the world can easily spread to the whole world in the coming years. For this reason, the aim of this study is to choose the right place for a field hospital that can be established in Europe for providing an adequate and complete health services and preventing loss of life because of COVID-19 or any different pandemics that may occur in coming years.

3.1 Problem Model

The model established within the scope of the research was based on literature research and expert opinions and within the scope of the model, 5 main and 20 sub-criteria were determined to evaluate 6 alternative countries. The established research model is shown in Fig. 1.

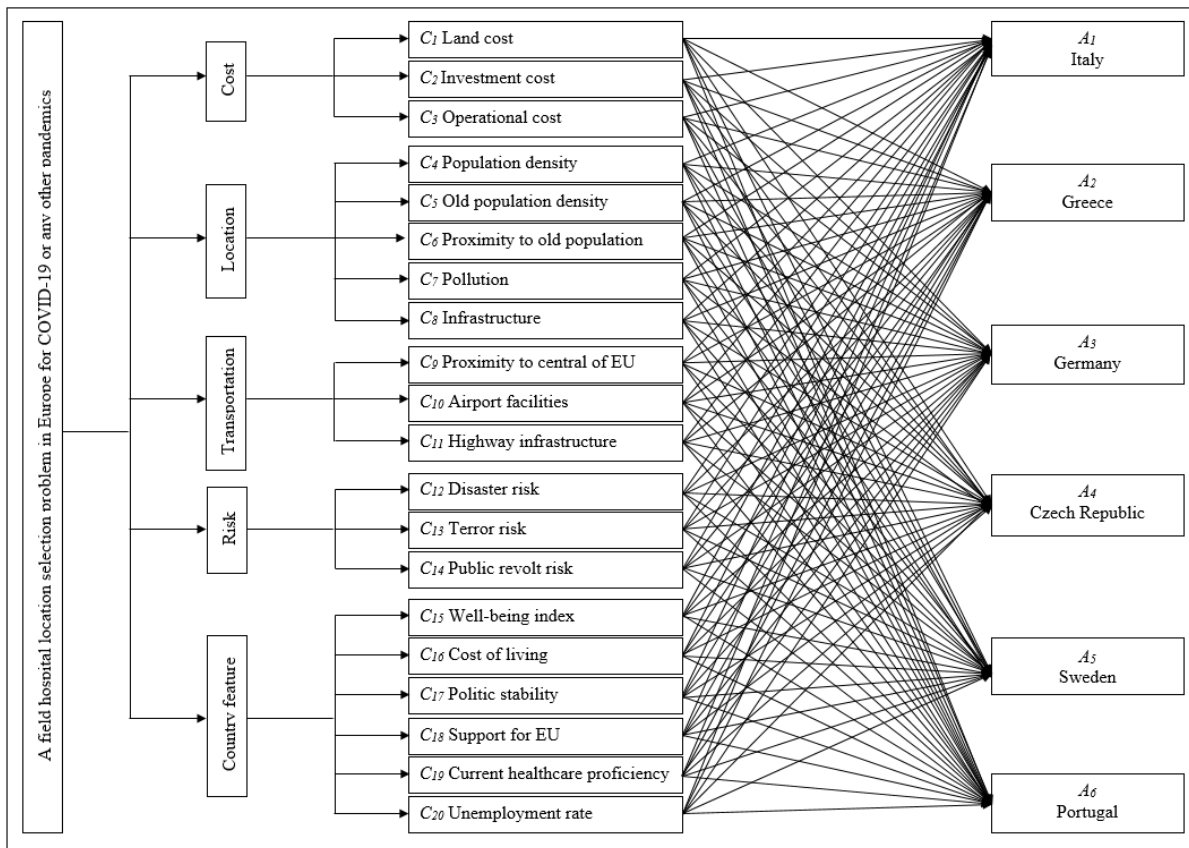


Figure 1. Established MCDM model

3.2 Problem Criteria

Within the scope of the research, 20 decision criteria were determined in the proposed model for the evaluation of alternatives. While some of the criteria are derived from existing studies in the literature, the criteria that are not referenced are the authors' contributions to the literature while creating the model they propose. The criteria taken from the literature were chosen considering their effectiveness in the selection of hospital location. Differ from the literature, the original criteria in the proposed criteria set were added in order to determine the elderly population most affected by COVID-19, to evaluate easy transportation from any region of the European Union, and to determine the distinguishing features of alternative countries among each other.

While 10 of these decision criteria are benefit-based criteria that should be maximized by the alternatives, the remaining 10 criteria are cost-based criteria that should be minimized by the alternatives. The research criteria are as follow:

Criteria about *Cost*:

- C₁ Land cost: This is the one time cost that includes only land price [21, 22, 23].
- C₂ Investment cost: This is the one time cost that includes construction and machine-material costs [21, 23].
- C₃ Operational cost: This cost includes the annual labor and ongoing activities costs [21].

Criteria about *Location*:

- C₄ Population density: The population of country should be high in EU [22, 24, 25].

- C_5 Old population density: The number of 65 years old and over people should be high in country.
- C_6 Proximity to old population: The selected country should be near to old population for serving health treatments quickly.
- C_7 Pollution: The pollution level (air, water...etc.) should be low [23, 25].
- C_8 Infrastructure: The selected country should has high-level infrastructure [22, 25, 26].

Criteria about *Transportation*:

- C_9 Proximity to central of EU: The selected country should be near the center of EU for serving many people quickly.
- C_{10} Airport facilities: The selected country should has effective airport facilities.
- C_{11} Highway infrastructure: The selected country should has high-level highway infrastructure for quick transportation [21, 23, 24, 26, 27].

Criteria about *Risk*:

- C_{12} Disaster risk: The possibility of disaster in country [25].
- C_{13} Terror risk: The possibility of terror attack to country.
- C_{14} Public revolt risk: The possibility of public revolt risk in country.

Criteria about *Country feature*:

- C_{15} Well-being index: High well-being index of the selected country affects employee engagement, motivation and performance positively.
- C_{16} Cost of living: Healthcare professionals prefer to come to selected country if it has cheaper living cost.
- C_{17} Politic stability: It affects predictability, future decisions and sustainability.
- C_{18} Support for EU: The number of supporter that happy to be a member of EU should be high.
- C_{19} Current healthcare proficiency: The current healthcare proficiency should be high [26].
- C_{20} Unemployment rate: If unemployment rate is high, the government in selected country will support this investment.

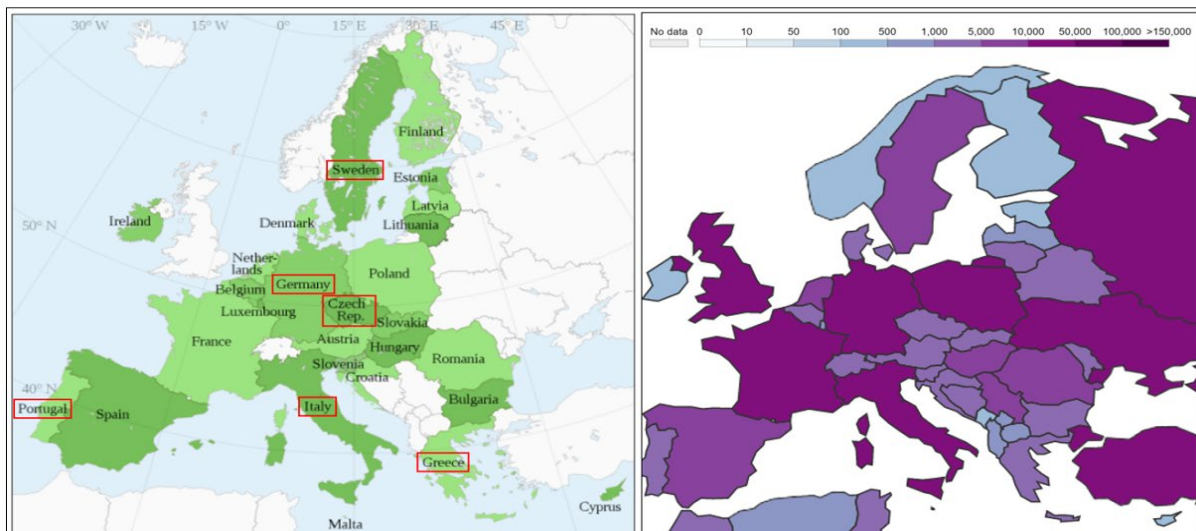


Figure 2^a. The locations of alternatives

Figure 2^b. New cases (in average of 7 days)

3.3 Problem Alternatives

Within the scope of the research, 6 European Union member countries were determined for the establishment of a field hospital that will provide fast and effective response for the increased health demands because of COVID-19 and other possible pandemics. The reasons for determining these countries as an alternative are that they are in different locations in Europe as seen in Fig. 2^a, and the average number of new COVID-19 cases for 7 days is still very high in these countries, as seen in Fig. 2^b.

Alternative countries shown in Fig. 2^a can be listed as follows with their advantageous and disadvantageous features:

- *A₁* Italy: Approximately 60.4 million people live in Italy, whose capital city is Rome, and the country is the 4th most populous country in Europe with this population. In the country where the population growth rate is -0.15%, the elderly population is the majority. Italy's official language is Italian, and its entire population speaks Italian. The most spoken languages after Italian are Spanish, French and English. Italy is the 5th most visited country in the world rankings and is the 4th country that earns the most from tourism.
- *A₂* Greece: Approximately 10.9 million people live in Greece, whose capital city is Athens. The official language of the country is Greek. However, Turkish, Macedonian, Albanian and Armenian are also spoken by minorities. The most widely used foreign language in the country is English. Greece is a democratic and developed country with a good economy, quality of life and standard of living.
- *A₃* Germany: Approximately 83 million people live in Germany, whose capital city is Berlin, and 10.6 million of this population are foreigners. In addition, the number of young people in the country is in a minority. The official language of the country is German. Almost all of the young population in Germany speaks English as well as their mother tongue. In addition, Spanish and French are used as foreign languages in the country. Germany is known all over the world for its giant industry and it is one of the most important economic powers in the world. It is among the countries that should be seen with different historical buildings in terms of touristic.
- *A₄* Czech Republic: Approximately 10.5 million people live in the Czech Republic, whose capital is Prague. The official language of the country is Czech, and the use of English and German is very common in the tourist areas of the country. In addition, the majority of the young population living in Prague can speak English. The Czech Republic has a diversified economy. 60% of the economy in the country is services, 37.5% is industry and 2.5% is agriculture. World-renowned products of the country are crystal, glasswork and garnet stone.
- *A₅* Sweden: Approximately 9.8 million people live in Sweden, whose capital is Stockholm. Swedish, which is spoken by the majority of the population, was accepted as the official language of the country in 2009. However, apart from Swedish, the country has 5 different minority languages. These languages are Finnish, Meänkieli, Sami, Romani and Yiddish. Sweden is a welfare state, financed by relatively high income taxes, ensuring the distribution of income throughout the society. Timber, hydroelectricity and iron ore constitute the resource base of the country's economy for foreign trade.
- *A₆* Portugal: Approximately 10.3 million people live in Portugal, whose capital is Lisbon. The official language of Portugal is Portuguese. Due to its similarities with Spanish, some of the people can understand or speak Spanish. English is widely known. While the economic income of Portugal is mostly provided by tourism and porto wine, oil refineries, cement, paper

and automotive production also have an importance in the country. Depending on agriculture and industry, Portugal is among the top 10 in the world in terms of welfare level.

3.4 Problem Assumptions and Limitations

In the framework of the research, it is assumed that no matter which alternative is chosen, a field hospital of the same size will be built and this establishment will be realized with European Union funding. In addition, it is assumed that the technology and drug supply of this field hospital, which is established, will be met by the European Union. Finally, for this field hospital, it is assumed that the legal responsibilities are met and the required permits are taken in alternative countries. Also, it is assumed that all decision makers who make evaluations within the scope of the study have equal importance in terms of the opinions they provide.

The most important limitation of this research is that instead of 27 countries in the European Union, 6 of them were evaluated. In addition, a more in-depth research area could be created with more main and sub criteria that could be added to the research model. Also, the research can be expanded by solving the same research model with different MCDM methods and the results can be compared.

Despite these limitations, this study was carried out in order to provide countries with a rapid perspective in the fight against the COVID-19 pandemic, which is still active all over the world, and to show the way.

3.5 Problem Solving Techniques

The research model was solved with the SWARA and EDAS methods used consecutively. In the first stage of the solution methodology, 20 decision criteria were weighted with the SWARA method, and in the second stage of the solution, 6 alternative countries were ranked with the EDAS method and the most suitable location was found for a field hospital that can be established in Europe.

The SWARA and EDAS methods used in the proposed methodology were preferred due to their suitability to work with experts, their easy application, and the small number of studies in which these two techniques were used together in the literature.

Both time and cost savings were achieved with these two methods, which provide convenience to decision-makers especially in problem types that decision-makers cannot agree on when choosing alternatives and/or have incomplete information for evaluating alternatives.

The proposed solution methodology with SWARA/EDAS methods for the research is shown in Fig. 3.

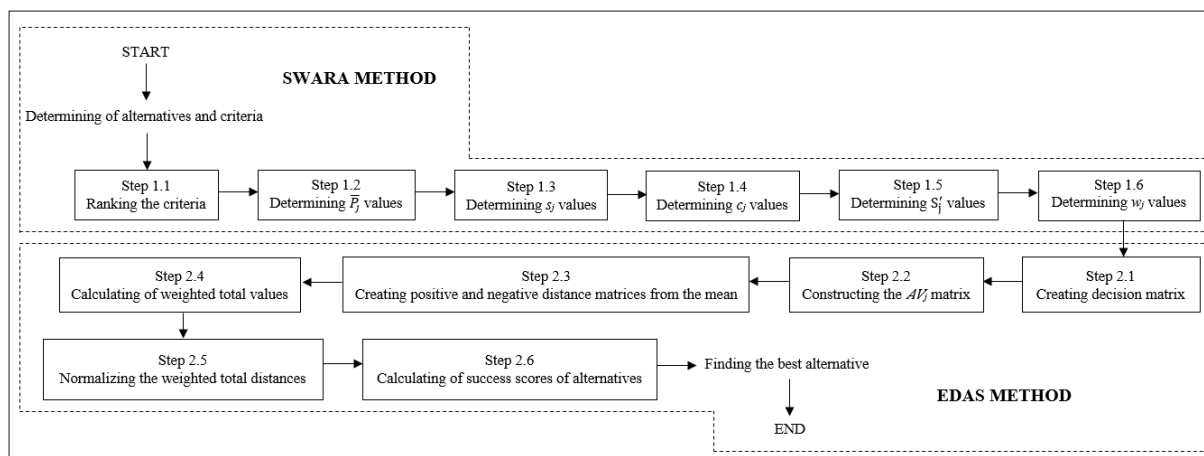


Figure 3. Solution methodology with SWARA/EDAS

3.5.1 Implementation Steps of SWARA Method

In the process of determining the criterion importance weights, the SWARA method, which is based on the possibility of estimating the opinions of decision makers or field experts regarding the importance of the criteria, was proposed by Keršuliene, Zavadskas and Turskis [28].

It is possible to summarize the steps of the SWARA as follows [28, 29, 30]:

Here, decision makers are k ($k = 1, \dots, l$), alternatives are a_i ($i = 1, \dots, m$) and criteria are c_j ($j = 1, \dots, n$).

Step 1 Ranking the criteria: In the first step, the criteria are ranked by the experts in order of decreasing importance, with the most important criterion first and the least important one at the last.

Step 2 Determining \bar{P}_j values: The experts reorder the decision criteria. In this ordering, the most important criterion's value (p_j) is equal to 1.00, while the other criteria's values are between 0.00 and 1.00 (P_j^k ; $0 \leq P_j^k \leq 1$). If criteria are to be evaluated by more than one expert, relative importance levels for each criterion is obtained by taking the geometric or arithmetic mean (\bar{P}) of the criteria rankings determined by the experts.

Step 3 Determining s_j values: Decision makers determine the relative importance levels for each criterion, starting with the second important criterion. For this, criterion j is compared with the previous criterion $j-1$.

Step 4 Determining c_j values: The c_j value of the first criterion is always equal to 1.00 and the c_j values of the other criteria are obtained by using Eq. (1).

$$c_j = s_j + 1 \quad j > 1 \quad (1)$$

Step 5 Determining S'_j values: The significance vector S'_j is calculated with the help of Eq. (2).

$$S'_j = \frac{S'_{j-1}}{c_j} \quad j > 1 \quad (2)$$

Step 6 Determining w_j values: The final importance weights of the evaluation criteria are calculated with the help of Eq. (3).

$$w_j = \frac{S'_j}{\sum_{j=1}^n S'_j} \quad (3)$$

3.5.2 Implementation Steps of EDAS Method

EDAS method is one of the MCDM methods and was developed by Ghorabae, Zavadskas, Olfat and Turskis [31]. EDAS method uses the evaluations based on the average solution distance in determining the most optimal among the alternatives in the decision-making stages and the application steps of the method are as follows [31, 32, 33]:

Step 1 Creating decision matrix: The decision matrix is constructed with n decision criteria and m alternatives, as shown in Eq. (6).

$$X = [X_{ij}]_{n \times m} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nm} \end{bmatrix} \quad (6)$$

Step 2 Constructing the AV_j matrix: The mean values matrix is calculated by using Eq. (7) and Eq. (8). Thus, average solution matrices related to the determined evaluation criteria are created.

$$AV = [AV_j]_{1 \times m} \quad (7)$$

$$AV_j = \frac{\sum_{i=1}^n X_{ij}}{n} \quad (8)$$

Step 3 *Creating positive and negative distance matrices from the mean:* For each criterion, the positive distance matrix from the mean (*PDA*) shown in Eq. (9) and the negative distance matrix from the mean (*NDA*) shown by Eq. (10) are created. If the criteria are benefit-based (should be maximized), *PDA* and *NDA* matrices are obtained with Eq. (11) and Eq. (12). If the criteria are cost-based (should be minimized), then *PDA* and *NDA* matrices are obtained by Eq. (13) and Eq. (14).

$$PDA = [PDA_{ij}]_{m \times n} \quad (9)$$

$$NDA = [NDA_{ij}]_{m \times n} \quad (10)$$

$$PDA_{ij} = \frac{\max(0, (X_{ij} - AV_j))}{AV_j} \quad (11)$$

$$NDA_{ij} = \frac{\max(0, (AV_j - X_{ij}))}{AV_j} \quad (12)$$

$$PDA_{ij} = \frac{\max(0, (AV_j - X_{ij}))}{AV_j} \quad (13)$$

$$NDA_{ij} = \frac{\max(0, (X_{ij} - AV_j))}{AV_j} \quad (14)$$

Step 4 *Calculating of weighted total values:* Weighted total positive distances (SP_i) and weighted total negative distances (SN_i) are calculated with the help of Eq. (15) and Eq. (16). In these equations, w_j expresses the importance weight of each decision criterion.

$$SP_i = \sum_{j=1}^n w_j PDA_{ij} \quad (15)$$

$$SN_i = \sum_{j=1}^n w_j NDA_{ij} \quad (16)$$

Step 5 *Normalizing the weighted total distances:* The weighted and normalized NSP_i and NSN_i values of all alternatives are calculated by using Eq. (17) and Eq. (18).

$$NSP_i = \frac{SP_i}{\max(SP_i)} \quad (17)$$

$$NSN_i = 1 - \frac{SN_i}{\max(SN_i)} \quad (18)$$

Step 6 *Calculating of success scores of alternatives:* Averaging the sum of NSP_i and NSN_i values, success scores (AS_i) for each alternative are calculated by using Eq. (19). The success scores calculated for each alternative take values between 0.00 and 1.00. As a result of the calculations, the alternative with the highest score is determined as the best alternative.

$$AS_i = \frac{1}{2} (NSP_i + NSN_i) \quad (19)$$

3.7 Problem Solution

Within the scope of the study, multi-criteria model and alternative countries were determined based on literature research and expert opinions.

Following the proposal of the MDCM model in Figure 1, the problem was started to be solved with the integrated SWARA / EDAS method according to the proposed solution methodology given in Figure 3. The solution steps of the problem were carried out in the following order. First, the importance weights of 20 decision criteria were found with the SWARA method:

Step 1.1-1.2: Criteria were ranked by the 5 decision makers from most important to least important, and average importance values (\bar{P}_j) were calculated for each criterion. This ranking performed by decision makers is shown in Table 1.

The 5 experts whose opinions were taken during the evaluation phase of the study consist of health professionals, administrators and international health investors working in the health sector. The industry experience of the experts ranges from 10 to 28 years.

Table 1. Ranking of problem criteria

Criteria	Decision Makers										\bar{P}_j
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
1	15	8	17	6	14	0.40	0.70	0.38	0.75	0.30	0.506
2	3	2	10	5	7	0.94	0.95	0.64	0.80	0.75	0.816
3	7	4	7	1	6	0.78	0.85	0.77	1.00	0.80	0.840
4	8	11	3	9	9	0.75	0.58	0.93	0.60	0.55	0.682
5	9	13	19	2	1	0.70	0.48	0.30	0.95	1.00	0.686
6	1	3	2	3	5	1.00	0.90	0.96	0.90	0.85	0.922
7	20	20	18	18	20	0.20	0.25	0.35	0.15	0.07	0.204
8	5	5	1	13	8	0.84	0.80	1.00	0.40	0.60	0.728
9	2	1	4	4	2	0.98	1.00	0.90	0.85	0.95	0.936
10	4	7	16	8	3	0.90	0.75	0.40	0.65	0.93	0.726
11	6	6	5	12	4	0.81	0.77	0.87	0.45	0.90	0.760
12	16	9	11	14	12	0.35	0.66	0.57	0.35	0.35	0.456
13	19	12	15	19	16	0.28	0.52	0.44	0.10	0.23	0.314
14	17	17	14	15	17	0.33	0.35	0.47	0.30	0.20	0.330
15	18	18	13	20	19	0.30	0.31	0.50	0.05	0.10	0.252
16	11	10	6	17	11	0.65	0.60	0.81	0.20	0.50	0.552
17	12	14	8	16	15	0.60	0.45	0.72	0.25	0.27	0.458
18	10	16	12	7	10	0.68	0.40	0.55	0.70	0.53	0.572
19	14	19	20	10	18	0.48	0.28	0.25	0.55	0.15	0.342
20	13	15	9	11	13	0.52	0.42	0.67	0.50	0.33	0.488

Step 1.3: s_j values were obtained.

Step 1.4: c_j values were obtained with Eq. (1).

Step 1.5: S'_j values were obtained with Eq. (2).

Step 1.6: w_j values were obtained with Eq. (3).

All calculated s_j , c_j , S'_j and w_j values for all problem criteria are shown in Table 2.

Table 2. s_j , c_j , S'_j and w_j values for all problem criteria

C	\bar{P}_j	s_j	c_j	S'_j	w_j	C	\bar{P}_j	s_j	c_j	S'_j	w_j
9	0.936	-	1.000	1.000	0.0692	16	0.552	0.020	1.020	0.689	0.0477
6	0.922	0.014	1.014	0.986	0.0682	1	0.506	0.046	1.046	0.659	0.0456
3	0.840	0.082	1.082	0.911	0.0630	20	0.488	0.018	1.018	0.648	0.0448
2	0.816	0.024	1.024	0.890	0.0616	17	0.458	0.030	1.030	0.629	0.0435
11	0.760	0.056	1.056	0.843	0.0583	12	0.456	0.002	1.002	0.627	0.0434
8	0.728	0.032	1.032	0.817	0.0565	19	0.342	0.114	1.114	0.563	0.0390
10	0.726	0.002	1.002	0.815	0.0564	14	0.330	0.012	1.012	0.557	0.0385
5	0.686	0.040	1.040	0.784	0.0542	13	0.314	0.016	1.016	0.548	0.0379
4	0.682	0.004	1.004	0.781	0.0540	15	0.252	0.062	1.062	0.516	0.0357
18	0.572	0.110	1.110	0.703	0.0486	7	0.204	0.048	1.048	0.492	0.0340

The solution phase continued with the steps of EDAS method after the steps of applied SWARA method and 6 alternative countries were evaluated according to this method:

Step 2.1: Decision matrix was created and showed in Table 3.

Step 2.2: AV_j values was calculated with Eq. (8).

The decision matrix and AV_j values of alternatives are shown in Table 3. In this matrix the objective evaluations of the alternatives were made with lots of different resources. For only two criteria such as C_6 and C_{14} subjective assessments were made by experts.

Table 3. Decision matrix and AV_j values

Criteria	w_j	Alternatives						AV_j	
		1	2	3	4	5	6		
1	min	0.0456	20.67	23.39	28.34	29.55	27.50	17.20	24.453
2	min	0.0616	87.9	80.2	120.8	80.5	120.6	80.5	95.083
3	min	0.0630	28.8	16.4	35.6	13.5	36.3	14.6	24.200
4	max	0.0540	11.9	2.2	16.6	2.1	1.8	2.1	6.117
5	max	0.0542	22.8	22.0	21.5	19.6	19.9	21.8	21.267
6	min	0.0682	1	3	1	2	4	4	2.500
7	min	0.0340	407.81	545.87	324.29	585.26	64.64	203.88	355.292
8	max	0.0565	3.85	3.17	4.37	3.46	4.24	3.25	3.725
9	min	0.0692	1189.0	2089.4	481.7	502.9	1591.1	2278.0	1355.350
10	max	0.0564	0.035	0.032	0.019	0.006	0.030	0.022	0.024
11	max	0.0583	0.162	0.089	0.180	0.166	0.129	0.091	0.136
12	min	0.0434	4.42	6.70	2.95	3.37	2.12	3.45	3.835
13	min	0.0379	3.043	4.182	3.965	0.315	2.892	0.001	2.400
14	min	0.0385	3	3	2	2	1	2	2.167
15	max	0.0357	4.4	2.2	7.8	6.8	8.9	2.4	5.417
16	min	0.0477	73.11	60.96	70.62	49.18	79.17	52.88	64.320
17	max	0.0435	0.46	0.29	0.58	0.95	1.05	1.13	0.743
18	max	0.0486	58	53	69	52	72	84	64.667
19	max	0.0390	687	615	785	731	800	754	728.667
20	max	0.0448	9.97	17.33	3.15	2.20	6.77	6.55	7.662

Step 2.3: Positive and negative distance matrices from the mean were created. In this step problem criteria were separated to be benefit-based or cost-based and suitable equations were used for calculations.

Step 2.4: SP_i and SN_i values were calculated by using Eq. (15) and Eq. (16). In these calculations used w_j values were obtained by SWARA.

Step 2.5: NSP_i and NSN_i values were calculated by using Eq. (17) and Eq. (18).

Step 2.6: AS_i values were calculated by using Eq. (19).

Calculated SP_i , SN_i , NSP_i , NSN_i , AS_i values for all problem alternatives and the ranking of alternatives are shown in Table 4.

Table 4. SP_i , SN_i , NSP_i , NSN_i , AS_i values for all alternatives and the ranking

Alternatives	SP_i	SN_i	NSP_i	NSN_i	AS_i	Ranking
1 Italy	0.1675	0.0856	0.6827	0.6835	0.6831	2
2 Greece	0.1114	0.2705	0.4541	0.0000	0.2270	6
3 Germany	0.2454	0.1298	1.0000	0.5202	0.7601	1
4 Czech Republic	0.1809	0.1581	0.7371	0.4155	0.5763	3
5 Sweden	0.1398	0.1754	0.5695	0.3517	0.4606	5
6 Portugal	0.1559	0.1814	0.6353	0.3294	0.4823	4

3.8 Problem Findings

In the first step of the proposed solution methodology, the importance weights of the decision criteria were found by using SWARA method. According to the values given in Table 3, the most important four criteria in the proposed model are proximity to central of EU (C_9), proximity to old population (C_6), operational cost (C_3) and investment cost (C_2). According to the conclusion to be drawn here, proximity to the market and costs are very influential on the location selection decision of the field hospital. On the other hand, the decision criteria that have the least impact on this decision are the possibility of terror attack to country (C_{13}), well-being index (C_{15}) and pollution (C_7) according to the values in Table 3.

In the second stage of the proposed solution methodology, with using the EDAS method, alternative locations were ranked and the most suitable alternative country was selected. The final results in Table 5 were obtained by carrying out the steps of this method, which evaluates the alternatives according to the negative and positive distance matrices from the mean. According to this table, in the lead of the proposed model, Germany was the most suitable country for such a field hospital among 6 alternative European Union member countries with a success score of 0.7601. Germany was followed by Italy with 0.6831 success score and Czech Republic with 0.5763 success score. This result is consistent due to the fact that Germany is at the mid-point of the EU and its elderly population is high. Ease of transportation and other features of the country make Germany stand out for a possible field hospital.

Finally, in the sensitivity analysis section of the study, when the criteria weights found by the SWARA method were changed partially, it was checked whether the first alternative ranking result obtained by the EDAS method changed. The weights of the 5 main criteria in the proposed MCDM model were increased by 10%, respectively, and the result values and rankings are shown in Table 5. In the calculations, it was observed that there was no change in the ranking of the alternatives.

Table 5. Sensitivity analysis by changing criterion weights

Alternatives	Results by increasing the Cost criteria by 10%	Results by increasing the Location criteria by 10%	Results by increasing the Transportation criteria by 10%	Results by increasing the Risk criteria by 10%	Results by increasing the Country Feature criteria by 10%
	AS_i / Ranking	AS_i / Ranking	AS_i / Ranking	AS_i / Ranking	AS_i / Ranking
Italy	0.6833 2	0.6868 2	0.6876 2	0.6790 2	0.6787 2
Greece	0.2354 6	0.2113 6	0.2244 6	0.2255 6	0.2397 6
Germany	0.7474 1	0.7683 1	0.7640 1	0.7627 1	0.7577 1
Czech Republic	0.5838 3	0.5483 3	0.5769 3	0.5946 3	0.5794 3
Sweden	0.4479 5	0.4412 5	0.4601 5	0.4785 5	0.4760 5
Portugal	0.4948 4	0.4559 4	0.4646 4	0.5035 4	0.4945 4

4. Conclusion

The spread and effects of the COVID-19 pandemic, which surrounded the whole world and killed nearly three million people, still continue today. Although rapid vaccine and drug researches are trying to contain the pandemic, the number of countries that have been successful in this regard is very few yet.

This study is about the determination of the selection of location for a field hospital that is likely to be established in European countries especially which has the elderly population and severely injured in COVID-19 pandemic. Within the scope of the study, 6 alternative countries were evaluated according to 20 criteria, and countries were guided in this regard to combat both COVID-19 and other possible pandemics.

Although it is very difficult to give predictions for the ending day of the COVID-19 pandemic that affects the whole world today, and also to predict what the consequences will be if the pandemic is over is very difficult, too. In fact, the important thing against the COVID-19 pandemic or against other pandemics that may occur in the future is that the world public can act with a common mind and responsibility in the treatment of all diseases, wherever they are in the world. Also to intervening in these pandemics without further spreading is the important subject for all over the world.

With this study, it is aimed to provide a quick perspective and guide the countries in the fight against the COVID-19 pandemic, which affects the whole world and is still active in some countries. With the results found, a preliminary study has been prepared on the rapid response to the COVID-19 pandemic or possible epidemic diseases that may affect the European region.

Declaration of competing interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

References

- [1] Budak F, Korkmaz Ş. An overall evaluation for the COVID-19 pandemic process: The case of Turkey. *Journal of Social Research and Management* 2020; 1: 62-79.
- [2] Agarwal S, Kant R, Shankar R. Evaluating solutions to overcome humanitarian supply chain management barriers: A hybrid fuzzy SWARA – Fuzzy WASPAS approach. *International Journal of Disaster Risk Reduction* 2020; 51: 101838.
- [3] Mostafaepour A, Dehshiri SJH, Dehshiri SSH. Ranking locations for producing hydrogen using geothermal energy in Afghanistan. *International Journal of Hydrogen Energy* 2020; 45(32): 15924-15940.
- [4] Shao M, Han Z, Sun J, Xiao C, Zhang S, Zhao Y. A review of multi-criteria decision making applications for renewable energy site selection. *Renewable Energy* 2020; 157: 377-403.
- [5] Ulutas A, Karakus CB, Topal A. Location selection for logistics center with fuzzy SWARA and CoCoSo methods. *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems* 2020; 38(1): 1-17.
- [6] Popovic G, Stanujkic D, Brzakovic M, Karabasevic D. A multiple-criteria decision-making model for the selection of a hotel location. *Land Use Policy* 2019; 84: 49-58.
- [7] Mostafaepour A, Dehshiri SJH, Dehshiri SSH, Jahangiri M. Prioritization of potential locations for harnessing wind energy to produce hydrogen in Afghanistan. *International Journal of Hydrogen Energy* 2020; 45(58): 33169-33184.
- [8] Supciller AA, Toprak F. Selection of wind turbines with multi-criteria decision making techniques involving neutrosophic numbers: A case from Turkey. *Energy* 2020; 207: 118237.

- [9] Dahooie JH, Dehshiri SJH, Banaitis A, Binkyte-Veliene A. Identifying and prioritizing cost reduction solutions in supply chain by integrating value engineering and gray multi-criteria decision-making. *Technological and Economic Development of Economy* 2020; 26(6): 1311-1338.
- [10] Ghorabae MK, Amiri M, Zavadskas EK, Antucheviciene J. A new hybrid fuzzy MCDM approach for evaluation of construction equipment with sustainability considerations. *Archives of Civil and Mechanical Engineering* 2018; 18(1): 32-49.
- [11] Juodagalviene B, Turskis Z, Saparauskas J, Endriukaityte A. Integrated multi-criteria evaluation of house's plan shape based on the EDAS and SWARA methods. *Engineering Structures and Technologies* 2017; 9(3): 117-125.
- [12] Ghorabae MK, Amiri M, Zavadskas EK, Turskis Z, Antucheviciene J. A new hybrid simulation-based assignment approach for evaluating airlines with multiple service quality criteria. *Journal of Air Transport Management* 2017; 63: 45-60.
- [13] Samanloğlu F, Kaya BE. Evaluation of the COVID-19 Pandemic Intervention Strategies with Hesitant F-AHP. *Journal of Healthcare Engineering* 2020; Article ID 8835258.
- [14] Gül S. Fermatean fuzzy set extensions of SAW, ARAS, and VIKOR with applications in COVID-19 testing laboratory selection problem. *Expert Systems* 2021; 38: 12769.
- [15] Moradian MJ, Ardalan A, Nejati A, Bloorani AD, Akbari AB, Rastegarfar B. Field hospital site selection criteria: A Delphi consensus study. *International Journal of Emergency Management* 2018; 14(4): 377.
- [16] Aydın N, Şeker Ş. Determining the location of isolation hospitals for COVID-19 via Delphi-based MCDM method. *International Journal of Intelligent Systems* 2021; 36: 3011-3034.
- [17] Gül M, Güneri AF. Hospital Location Selection: A Systematic Literature Review on Methodologies and Applications. *Mathematical Problems in Engineering* 2021; Article ID 6682958.
- [18] World Health Organization Europe, <https://www.euro.who.int/en/health-topics/health-emergencies/coronavirus-covid-19/novel-coronavirus-2019-ncov>. Arrival Date: 20.03.2021.
- [19] World Health Organization, <https://covid19.who.int/>. Arrival Date: 08.02.2022.
- [20] Statistica, <https://www.statista.com/>. Arrival Date: 15.03.2021.
- [21] Şen H, Demiral MF. Hospital Location Selection with Grey System Theory. *European Journal of Economics and Business Studies* 2016; 2(2): 66-79.
- [22] Chatterjee D, Mukherjee B. Potential Hospital Location Selection Using Fuzzy-AHP: An Empirical Study in Rural India. *International Journal of Computer Applications* 2013; 71(17): 1-7.
- [23] Moradian MJ, Ardalan A, Nejati A, Bloorani AD, Akbarisari A, Rastegarfar B. Risk Criteria in Hospital Site Selection: A Systematic Review. *PLoS Currents* 2017; 9.
- [24] Rahimi F, Goli A, Rezaee R. Hospital location-allocation in Shiraz using Geographical Information System (GIS). *Shiraz E-Medical Journal* 2017; 18(8): 57572.
- [25] Assad CAR. Building GIS Framework based on Multi Criteria Analysis for Hospital Site Selection in Developing Countries. *International Journal of Computer Techniques* 2019; 6(4): 1-6.
- [26] Kim JI, Senaratna DM, Ruza J, Kam C, Ng S. Feasibility Study on an Evidence-Based Decision-Support System for Hospital Site Selection for an Aging Population. *Sustainability* 2015; 7(3): 2730-2744.
- [27] Kahraman C, Gündoğdu FK, Onar SC, Oztaysi B. Hospital Location Selection Using Spherical Fuzzy TOPSIS. *Atlantis Studies in Uncertainty Modelling 1. 11th Conference of the European Society for Fuzzy Logic and Technology (EUSFLAT 2019)*, 2019: 77-82.
- [28] Keršulienė V, Zavadskas EK, Turskis Z. Selection of rational dispute resolution method by applying new step-wise weight assessment ratio analysis (SWARA). *Journal of Business Economics and Management* 2010; 11(2): 243-258.
- [29] Prajapati H, Kant R, Shankar R. Prioritizing the solutions of reverse logistics implementation to mitigate its barriers: A hybrid modified SWARA and WASPAS approach. *Journal of Cleaner Production* 2019; 240: 118219.
- [30] Balki MK, Erdoğan S, Aydın S, Sayin C. The optimization of engine operating parameters via SWARA and ARAS hybrid method in a small SI engine using alternative fuel. *Journal of Cleaner Production* 2020; 258: 120685.

- [31] Ghorabae MK, Zavadskas EK, Olfat L, Turskis Z. Multi-criteria inventory classification using a new method of evaluation based on distance from average solution (EDAS). *Informatica* 2015; 26: 435-451.
- [32] Yazdani M, Torkayesh AE, Santibanez-Gonzalez EDR, Otaghsara SK. Evaluation of renewable energy resources using integrated Shannon Entropy—EDAS model. *Sustainable Operations and Computers* 2020; 1: 35-42.
- [33] Abdel-Basset M, Gamal A, Chakraborty RK, Ryan MJ. Evaluation of sustainable hydrogen production options using an advanced hybrid MCDM approach: A case study. *International Journal of Hydrogen Energy* 2021; 46(5): 4567-4591.

THE EFFECT OF USING PALMITIC ACID ON A SOLAR POND TEMPERATURE DISTRIBUTION

Hacı SOĞUKPINAR¹, Zuhul KARAGÖZ GENÇ², İsmail BOZKURT^{3*}, Ayşe Mine KÜÇÜKKAYA⁴

¹Department of Electric and Energy, Vocational School, University of Adiyaman, Adiyaman 02040, Turkey

^{2,4}Department of Metallurgy and Materials Engineering, Faculty of Engineering, University of Adiyaman, Adiyaman 02040, Turkey

³Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Adiyaman, Adiyaman 02040, Turkey

Geliş Tarihi/Received Date: 25.02.2022 Kabul Tarihi/Accepted Date: 08.06.2022 DOI: 10.54365/adyumbd.1078930

ABSTRACT

Solar energy is one of the renewable energy sources and widely used to obtain thermal energy. The heat obtained from solar energy can be stored by using different systems. One of these systems is solar ponds. Solar ponds consist of layers whose salt density increases towards the bottom. In this study, the use of phase change materials to increase the heat storage performance of a model solar pond was investigated. The phase change material, Cetyl-palmitic acid eutectic mixture was prepared and its chemical properties were obtained by FT-IR spectroscopy. The thermophysical properties and surface morphologies were determined by using Differential Scanning Calorimetry and SEM. The obtained phase change material was applied to the inner surface of the heat storage zone. The temperature distribution of the solar pond was calculated numerically for with and without phase change material. As a result, it has been seen that the use of phase change materials with suitable thermophysical properties in solar ponds will contribute to long-term heat storage performance.

Keywords: Solar energy, solar pond, heat storage, phase change materials

PALMİTİK ASİT KULLANIMININ GÜNEŞ HAVUZUNUN SICAKLIK DAĞILIMI ÜZERİNE ETKİSİ

ÖZET

Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisi, termal enerji elde etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Güneş enerjisinden elde edilen ısı farklı sistemler kullanılarak depolanabilir. Bu sistemlerden biri de güneş havuzlarıdır. Güneş havuzları, tuz yoğunluğu tabana doğru artan katmanlardan oluşur. Bu çalışmada, bir model güneş havuzunun ısı depolama performansını artırmak için faz değiştiren malzemelerin kullanımı araştırılmıştır. Faz değiştirici malzeme olan Cetyl-palmitic asitin ötektik karışımı hazırlanmış ve kimyasal özellikleri FT-IR spektroskopisi ile elde edilmiştir. Termofiziksel özellikler ve yüzey morfolojileri, diferansiyel taramalı kalorimetri ve SEM kullanılarak belirlenmiştir. Elde edilen faz değişim malzemesi ısı depolama bölgesinin iç yüzeyine uygulanmıştır. Güneş havuzunun sıcaklık dağılımı, faz değiştiren malzemeli ve faz değiştiren malzemesiz için sayısal olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak güneş havuzlarında uygun termofiziksel özelliklere sahip faz değiştiren malzemelerin kullanılmasının uzun süreli ısı depolama performansına katkı sağlayacağı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, güneş havuzları, ısı depolama, faz değiştirci malzemeler

*1e-posta: hsogukpinar@adiyaman.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9467-2005>

2e-posta: zgenic@adiyaman.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8847-9129>

3e-posta: ibozkurt@adiyaman.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2126-3710> (Sorumlu Yazar)

4e-posta: ayseminekucukkaya@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1801-6177>

1. Introduction

Energy storage systems are very important in terms of the use of intermittent energy resources. For example, in solar energy applications, the need for energy storage is an inevitable. Energy storage systems reduce energy costs, energy consumption, initial and maintenance costs etc. [1]. Many studies have been performed on solar ponds and phase change materials. However, there are not many studies on the use of phase change materials connected with solar ponds. Sogukpınar et al. [2] investigated the saturation time and temperature of the solar ponds for different dimensions. The saturation temperature and the time duration were determined depend on the dimensions of the solar pond. Sogukpınar et al. [3] studied the heat loss caused by evaporation and precipitation for solar pond, in order to reduce the heat loss, a glass cover was designed numerically and compared with the experimental study. Bozkurt et al. [4] investigated the performance of an integrated system in which solar ponds and collectors are used together. The contribution of the number of collectors to the thermal energy storage performance of the system was determined. Tian et al. [5] proposed an active method of using an external magnetic field to prevent erosion in the brine layers occurring in the transition from the heat storage zone to the non-convection zone. A two-dimensional temporal model was developed using the lattice Boltzmann method with multi-relaxation time collisions, and it was observed that the external magnetic field could delay the concentration homogenization and improve the heat storage performance.

Colarossi et al. [6] investigated the temperature distribution of the solar pond experimentally by placing phase change materials in aluminum cylinders at the bottom of the heat storage zone of a small solar pond. The temperature distribution at the bottom of the solar pond was monitored both with and without PCM. Assari et al. [7] investigated the effect on adding PCM to a model solar pond, experimentally. Two solar ponds with the same dimensions, one with cylindrical capsuled PCM and the other without PCM were used. It was determined that the pond with PCM added has more thermal and salinity stability during the heat extraction. Ines et al. [8] investigated the thermal behavior of a model solar pond exposed to a solar simulator, experimentally. The change in the temperature distribution of the pond was determined by adding PCM to the solar pond and compared. Wang et al. [9] investigated the use of paraffin wax as a phase change material in a solar pond in composite form. It has been observed that the composite obtained by adding steel wires to paraffin improves the heat transfer performance. Poyyamozi and Karthikeyan [10] analyzed the temperature changes during the use of different phase change materials in solar ponds according to the time taken into account. It has been observed that the thermal conductivity and charge/discharge properties of the phase change materials increase with the addition of nanoparticles.

In this study, the effect of phase change materials on the temperature distribution of the solar pond was investigated numerically. For this purpose, a phase change material with thermophysical properties suitable for the annual temperature change of the solar pond was obtained. Thermophysical and chemical properties of the phase change material, cetyl palmitic acid, were determined by using FT-IR spectroscopy and differential scanning calorimetry. The obtained phase change material was applied to the inner surface of the heat storage zone. The temperature distribution of the solar pond was calculated numerically for with and without phase change material.

2. Materials and Calculations

The heat storage property of the solar pond has been known for many years. However, the presence of integrated systems increases heat storage efficiency or can store the heat for when needed. Phase change materials can act as a heat source to the environment by storing the heat by changing state when the ambient temperature reaches a certain level and giving it back to the environment when the temperature of the environment drops. Transformation of the phase change materials is not

happens at a specific temperature value, but takes place in a certain temperature range. Therefore, the phase change is assumed to happen in a temperature range between $T_{pc} - \Delta T/2$ and $T_{pc} + \Delta T/2$. In this range, the material phase is modeled with a smoothed function θ representing the phase fraction before the transition [9].

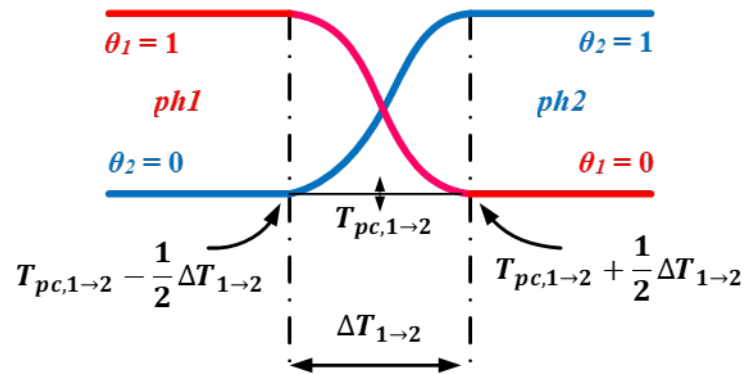


Figure 1. Modelling of phase change temperature transition interval [11]

Density, ρ , and specific enthalpy, H , are expressed as in terms of smoothed function:

$$\rho = \theta \rho_{ph1} + (1 - \theta) \rho_{ph2} \tag{1}$$

$$H = \frac{1}{\rho} (\theta \rho_{ph1} H_{ph1} + (1 - \theta) \rho_{ph2} H_{ph2}) \tag{2}$$

where, the indices $ph1$ and $ph2$ indicate a material in stage 1 or stage 2, respectively. Differentiating specific enthalpy with respect to temperature provides the following formula for specific heat capacity [11]:

$$C_p = \frac{1}{\rho} (\theta_1 \rho_{ph1} C_{p,ph1} + \theta_2 \rho_{ph2} C_{p,ph2}) + (H_{ph2} - H_{ph1}) \frac{d\alpha_m}{dT} \tag{3}$$

Where, θ_1 and θ_2 are equal to θ and $1-\theta$, respectively. Mass ratio α_m is defined from, ρ_{ph1} , ρ_{ph2} and θ . Particular attention should be paid to density in time dependent simulations to ensure energy and mass conservation in phase change models. When the fluid density is not constant over time, depending on temperature, the transport velocity field and density should be defined so that the mass is locally conserved. Heat transfer in solids is calculated with the following equation [11].

$$\rho C_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + \mathbf{u}_{trans} \cdot \nabla T \right) + \nabla \cdot (\mathbf{q} + \mathbf{q}_r) = \alpha T \left(\frac{\partial S}{\partial t} \right) + Q \tag{4}$$

Where, ρ is the density, C_p is the specific heat capacity at constant pressure, T is the absolute temperature, \mathbf{q} is the heat flux by conduction, \mathbf{q}_r is the heat flux by radiation, α is the coefficient of thermal expansion, p is the pressure, Q contains heat sources. S is the second Piola-Kirchhoff stress tensor. In the steady-state problem, the temperature does not change with time and the time-derived terms disappear. It should be noted that the d/dt operator is the material derivative. Radiation with participatory medium, the medium is not completely transparent and the radiation interact with the medium with different way, such as absorbtion, emission and Scattering. The medium absorbs some of the incident radiation and emits radiation in all directions, and also some of the radiation coming from a particular direction is scattered in other directions. The balance of radiative intensity including all contributions (scattering, emission, absorbtion and scattering) can now be formulated. The general radiative transfer equation can be written as [11]:

$$\Omega \cdot \nabla I(\Omega) = \kappa I_b(T) - \beta I(\Omega) + \frac{\sigma_s}{4\pi} \int_{4\pi} I(\Omega') \varphi(\Omega', \Omega) d\Omega' \tag{5}$$

Here, $I(\Omega)$ is the radiation intensity at a particular location travelling in the direction of Ω , $I_b(T)$ is the blackbody radiation intensity, n_r is the refractive index, σ is the Stefan-Boltzmann constant, κ , β , σ_s is the absorption, extinction and scattering coefficients are respectively; $\varphi(\Omega', \Omega)$ is the scattering phase function.

For the modelling, solar pond consists of three zone such as HSZ, NCZ and UCZ. HSZ is one layer and 1 m deep, NCZ has four layers, each with 0.2 m deep and filled with brine. UCZ is one layer, 0.2 m deep and filled with fresh water. PCM was applied to HSZ as a cylindrical shell with 5 cm thick and 1 m high. Cylindrical pond with PCM is presented in Fig. 2a. Mesh was created and tested by using mesh module in COMSOL [11]. General criteria for the numerical simulation is consistency with the experiment, therefore numerical data, consistent with experiment was chosen and finally tetrahedral mesh type with normal element size was decided for the final setting and 22615 tetrahedral element was created for the current model. Mesh distribution is shown in Fig. 2b. For numerical part, discrete ordinate method was used and PARDISO was preferred as the solver. Meteorological data (ASHRAE, 2013) was taken for Adana. Because the referenced experiment for a solar pond was conducted in the same district and time.

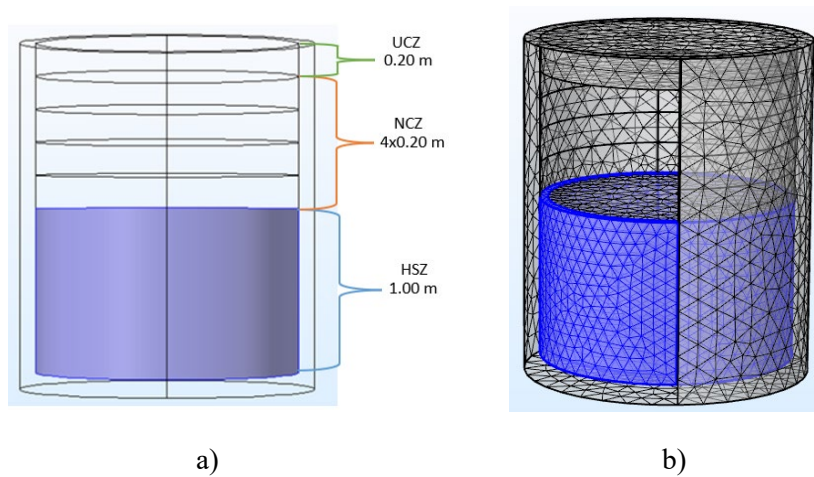


Figure 2. a) PCM embedded in Cylindrical pond b) Mesh distribution of the model

The phase change material, Cetyl-palmitic acid eutectic mixture was prepared and its chemical properties were obtained by FT-IR spectroscopy. The thermophysical properties and surface morphologies were determined by using Differential Scanning Calorimetry and SEM. Table 1 listed the obtained thermophysical properties of Cetyl-palmitic acid.

Table 1. Thermophysical properties of Cetyl-palmitic acid

Melting Temperature (°C)	Latent heat of Fusion (kJ/kg)	Solid density (kg/m ³)	Liquid density (kg/m ³)	Thermal conductivity (W/mK)
44.05	44.666	816.8	817.4	0.090

3. Results and discussion

The data were compared with a previous experimental study to show whether the numerical data were correct. Since the experimental study was carried out in 2014 [12], the physical parameters of the modeling were modeled with the same size, shape and the same boundary conditions as the experimental system. When the Figure 3 is examined, the numerical data shows a good agreement with the experimental study. this fit shows the accuracy of this modeling and predicts consistency for the next part.

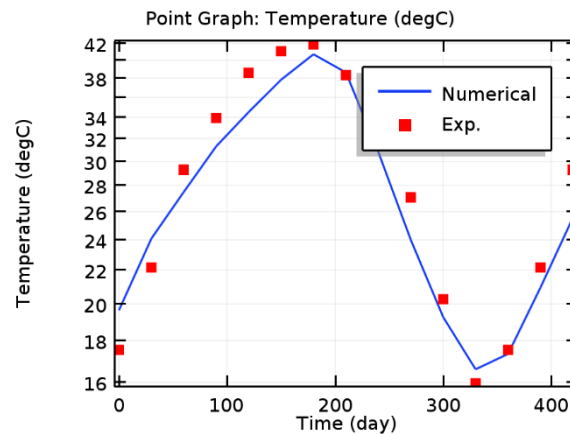


Figure 3. Numerical data vs. experiment

In the next step, the heat storage zone of the pond was covered with a 5 cm thick, shell-shaped phase change material and simulated and presented in Figure 4. Most of the heat losses in the solar pond occur from the upper surface and side walls. The salt gradient zone created in the middle of the pond prevents heat losses by convection. The temperature distribution of the solar pond is examined, it is seen that there are temperature drops as a result of heat losses from the side walls and the surface. Phase change materials applied to the side walls of the storage zone of the solar pond provide the thermal energy to be stored as latent heat. Thus, it is seen that the solar pond is more thermally stable. As seen in Figure 4a, the phase change material for a longer time than normal solar ponds or stores it for future times. Although, normally, the entire pond is insulated with 10 cm thick foam, The PCM material in the HSZ region increases the insulation compared to the upper layers, as seen in Figure 4b.

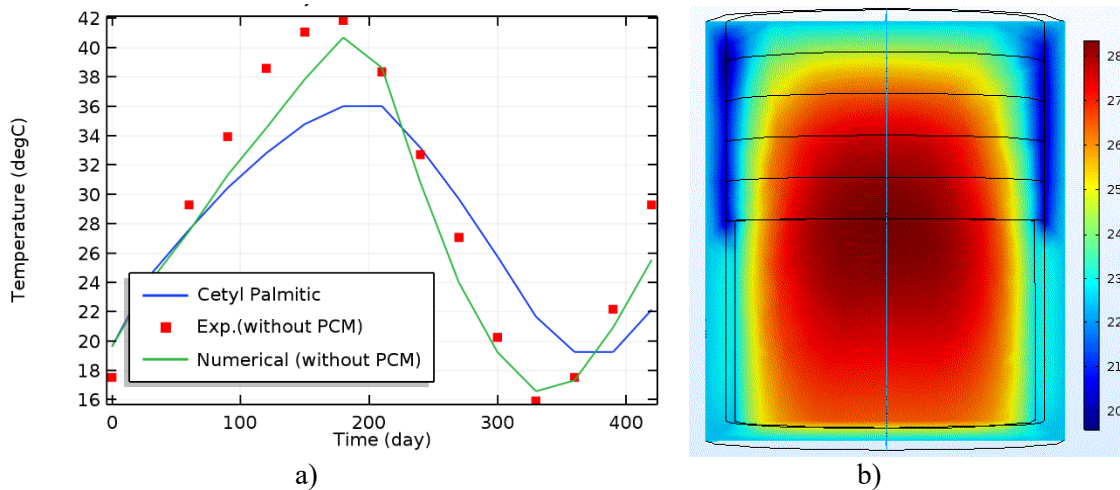


Figure 4. a) Temperature distribution of the solar pond, Cetyl Palmitic embeded in HSZ b) Temperature distribution in August all around the solar pond

4. Conclusions

In order to increase the long-term heat storage capacity of solar ponds where solar energy is collected and stored thermally, the latent heat storage feature of phase change materials can be utilized. In this study, the effect of using phase change materials on longer thermal energy storage in solar ponds was investigated. Phase change material with thermophysical properties suitable for the annual temperature change of the solar pond was selected. The phase change material, cetyl-palmitic

acid eutectic mixture was prepared and its chemical properties were determined by FT-IR spectroscopy. Phase change material was applied to the inner surface of the heat storage zone of the solar pond, and the temperature distribution of the designed system was determined numerically. As a result, it has been observed that the solar pond, in which phase change material is used, cools down later, so that heat can be stored for a longer time.

Conflict Of Interest

The authors declare that they have no conflict of interest

Acknowledgment

The authors are thankful to Adiyaman University and Middle East Technical University for technical support.

References

- [1] Dincer I, Rosen MA. Thermal Energy Storage: Systems and Applications. John Wiley and Sons, New York, 2011.
- [2] Sogukpınar H, Bozkurt I. Investigation of saturation temperature in solar pond for different sizes, Thermal Science; 2020; 24 No. 5A: 2905-2914.
- [3] Sogukpınar H, Bozkurt I, Karakilcik M, Cag S. Numerical Evaluation of the Performance Increase for a Solar Pond With Glazed and Unglazed, 2016 IEEE International Conference on Power and Renewable Energy; DOI: 10.1109/ICPRE.2016.7871146: 598-601.
- [4] Bozkurt I, Karakilcik M. The daily performance of a solar pond integrated with solar collectors. Solar Energy 2012; 86: 1611–1620.
- [5] Tian D, Qu ZG, Zhang JF, Ren QL. Enhancement of solar pond stability performance using an external magnetic field, Energy Conversion and Management, 2021; 243: 114427.
- [6] Colarossi D, Principi P. Experimental investigation and optical visualization of a salt gradient solar pond integrated with PCM, Solar Energy Materials & Solar Cells, 2022; 234: 111425.
- [7] Assari MR, Tabrizi HB, Beik AJG. Experimental studies on the effect of using phase change material in salinity-gradient solar pond, Solar Energy, 2015; 122: 204–214.
- [8] Ines M, Paolo P, Roberto F, Mohamed S. Experimental studies on the effect of using phase change material in a salinity-gradient solar pond under a solar simulator, Solar Energy, 2019; 186: 335–346.
- [9] Wang H, Zhang CY, Zhang LG. Effect of steel-wires and paraffin composite phase change materials on the heat exchange and exergetic performance of salt gradient solar Pond, Energy Reports 2022; 8: 5678–5687.
- [10] Poyyamozi N, Karthikeyan A. Performance comparison of AgTiO₂ and CNT based latent heat materials on a solar pond, Materials Today: Proceedings 2021; 47: 4548–4551.
- [11] Heat transfer module, COMSOL. <https://www.comsol.com/>[accessed 22 February 2022]
- [12] Bozkurt I, Karakilcik M and Dincer I. Energy efficiency assessment of integrated and nonintegrated solar ponds, International Journal of Low-Carbon Technologies, 2014; 9: 45–51

AN IMPROVED ARTIFICIAL ATOM ALGORITHM WITH THE OPERATOR OF SHUFFLED FROG LEAPING ALGORITHM

Ayşe Erdoğan Yıldırım^{1*}

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

Geliş Tarihi/Received Date: 01.03.2022 Kabul Tarihi/Accepted Date: 18.04.2022 DOI: 10.54365/adyumbd.1080995

ABSTRACT

Artificial Atom Algorithm is an optimization technique that developed inspired by nature. This algorithm used for both continues problems and discrete problems in previous studies. In this study, an arrangement that would increase the success of this algorithm was envisaged. For this purpose, the ionic bond function of Artificial Atom Algorithm has been improved benefiting an algorithmic step of Shuffled Frog Leaping Algorithm. As a result of the updates, the search space was narrowed for the ionic bond operator. Thus, the state of getting away from the solution in each iteration was prevented. The success of Improved Artificial Atom Algorithm was tested with benchmark functions. Experimental results for the proposed method were interpreted comparatively.

Keywords: *Artificial atom algorithm, Improved artificial atom algorithm, Shuffled frog leaping algorithm, Optimization, Benchmark problems.*

ADAPTİF KURBAĞA SIÇRAMA ALGORİTMASININ OPERATÖRÜ İLE GELİŞTİRİLMİŞ YAPAY ATOM ALGORİTMASI

ÖZET

Yapay Atom Algoritması, doğadan ilham alınarak geliştirilmiş bir optimizasyon tekniğidir. Bu algoritma önceki çalışmalarda hem sürekli problemler hem de ayrık problemler için kullanılmıştır. Bu çalışmada bu algoritmanın başarısını artıracak bir düzenleme öngörülmüştür. Bu amaçla, Yapay Atom Algoritmasının iyonik bağ işlevi, Adaptif Kurbağa Sıçrama Algoritmasının algoritmik bir adımından yararlanılarak geliştirilmiştir. Güncellemeler sonucunda iyonik bağ operatörü için arama alanı daraltılmıştır. Böylece her iterasyonda çözümden uzaklaşma durumu önlenmiştir. Geliştirilmiş Yapay Atom Algoritmasının başarısı, kıyaslama fonksiyonları ile test edilmiştir. Önerilen yöntem için deneysel sonuçlar karşılaştırmalı olarak yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Yapay atom algoritması, Geliştirilmiş yapay atom algoritması, Adaptif kurbağa sıçrama algoritması, Optimizasyon, Kıyaslama problemleri.*

1. Introduction

Optimization can be defined as objective function making minimum or maximum for specific problems. Optimization problems investigate parameter values that provide the minimum or maximum values for objective function. Various optimization algorithms are used to solve these problems. These algorithms are divided into two groups in terms of the used methods. These are deterministic and heuristic optimization algorithms [1]. Some of the heuristic optimization algorithms are Genetic Algorithm (GA), Particle Swarm Optimization (PSO), Sapling Growing up Algorithm, Bee Colony Optimization (BCO), Ant Colony Algorithm (ACO), Differential Evolution Algorithm (DE), Parliamentary Optimization Algorithm, Uniform Big Bang - Chaotic Big Crunch Optimization,

* 1e-posta: aerdoganyildirim@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8983-8410> (Sorumlu Yazar)

Artificial Chemical Reaction Algorithm, Cricket Algorithm, Bat Algorithm, Harmony Search (HS), Shuffled Frog Leaping Algorithm and Artificial Atom Algorithm (A3) [2-15].

GA is the most well-known heuristic method that aims to increase the fitness values of chromosomes by using basic operators such as selection, crossover, mutation [16]. PSO is an algorithm developed by modeling the feature of mimicking the behavior of the leader of fish and bird flocks. According to the algorithm, the position value of the one with the best fitness value is used to update the values of the others [17]. Saplings Growing up Algorithm consists of saplings planting, matching, branching and grafting operators. By planting saplings, it is ensured that a uniformly distributed solution set is formed. With matching, genetic information is exchanged between saplings [4]. Branching and grafting operators have been combined and named as mix-develop since they cause too much divergence from the solution [18]. BCO is an intuitive method that models the processes of searching the environment for a substance called nectar, which bees need to find in order to make honey in their hives, and informing the bees in the hive when they find it. If the neighbor is better than the memory, the new one overwrites the old search region [5]. It is thought that the change in the amount of a substance called pheromone secreted by ants when they use a road helps to guide the ants coming from behind and to choose the shortest path. ACO was developed by modeling this situation. The functioning of the algorithm depends on the amount of pheromone. The pheromone amount of the candidate with the best fitness function is updated [6]. DE is a population-based algorithm similar to the genetic algorithm. DE is more efficient for continuous data. Algorithm operators (crossover, mutation) are applied to each chromosome in the population one by one [19]. The Parliamentary Optimization method is designed by modeling systems in which there is an assembly and parties competing with each other, and the parties have candidates competing with each other within their own groups. Accordingly, the unification process at the end of the in-group and out-group race determines the result of the selection [20]. The Big Bang-Big Crunch Algorithm is based on the Big Bang theory and is inspired by the events thought to have occurred when the universe was formed. The algorithm mimics the bursting and shrinking processes by random distribution and random aggregation of solutions. The center of mass of the particles coming together is calculated. The algorithm is continued with new bursts and contractions. The algorithm terminates when the center of mass no longer changes [21]. Uniform Big Bang - Chaotic Big Crunch Optimization is designed to improve the performance of Big Bang - Big Crunch Optimization and it proposes efficient methods to overcome premature convergence [9]. Artificial Chemical Reaction Algorithm was developed by modeling chemical reactions. First, the molecules that will react are determined. These molecules undergo certain reactions. Accordingly, a chemical stability test is performed. As a result of this test, molecules with good values are preserved, while those with bad values are discarded [10]. The cricket algorithm was created by modeling the ability of crickets to predict the temperature of the air by flapping their wings. The loudness of the crickets gives the value of the fitness function of the optimization problem. Air temperature, speed and frequency of sound are used to update the positions of the crickets. If the fitness value is better at the new location, this value is taken to the population [11]. The Bat Algorithm is an optimization algorithm inspired by the behavior of bats to determine the direction and distance of an object by making use of the echolocation of the sound [12]. The HS algorithm is a music-based optimization method that aims to find the best result by using random selection, harmony memory consideration and pitch adjustment operators [13].

Optimization algorithms aim to find the global optimum, not to find the local optimal solution. The heuristic methods make this by improving the obtained solutions iteratively. In most heuristic methods, while improving candidate solutions, part of the candidate solution set is randomly refreshed or new elements are included in the set [22]. However, rather than production a completely new value, searching a solution using old solutions can yield more effective results.

In this article, it was aimed to achieve more successful results for optimization problems by making improvements on the ionic bond operator of A3. Therefore, A3 was improved by utilizing one of the new frog generation operators of Shuffled Frog Leaping Algorithm. The success of the proposed algorithm was evaluated in comparison with benchmark problems.

The contributions of this study to science:

- The A^3 algorithm, which has an important place among meta-heuristic algorithms, was developed by utilizing the new frog generation operator of the Shuffled Frog Leaping Algorithm. Thus, the random search space used by the ionic bond operator is narrowed down at each step. In this way, the performance of the A^3 algorithm has been improved.

- With the improvement made on A^3 , the rate of reaching of the algorithm the global optimum result with lower iteration numbers in the optimization problems has been increased.

- The algorithm has been applied to 11 benchmark test functions. In most of the test functions, the global optimum result has been reached or quite approached optimum result.

- The algorithm has been compared with the meta-heuristic methods that are widely used in the literature and the studies carried out in recent years. The results reveal the superiority of the Improved A^3 method over other methods for benchmark functions.

In Section 2, firstly, the general features of meta-heuristic algorithms are mentioned. Then, it is given the information about Shuffled Frog Leaping Algorithm and A^3 . Section 3 describes the changes made to improve A^3 . In Section 4, the benchmark problems which are utilized to prove the success of the proposed method are given. In addition, parameter settings for the algorithms and application results in comparative are also given with tables and figures. In Section 5, the studies are summarized and the results are interpreted.

2. Meta-heuristic Algorithms

Heuristic algorithms are methods which do not guarantee to always put forth the same and optimum result. These algorithms have been developed to keep the run-time and accuracy rate in balance. Meta-heuristic algorithms choose and use methods that are considered to be more advantageous between different heuristic algorithms. Meta-heuristic algorithms have been developed by inspired from nature and environment, such as animal species, atoms and chemical reactions, sports branches, behaviors or movements by modeling [22-23].

2.1. Shuffled Frog Leaping Algorithm

Eusuff and Lansey [14] design Shuffled Frog Leaping Algorithm as a combination of Memetic Algorithm and Particle Swarm Optimization. It is a meta-heuristic algorithm, inspired by the evolutionary development of a frog which has researched for food and jumped in a swamp. The basic logic of the algorithm is based to make improvements on a population consisting of frogs. This population is divided into sections called memplex which represents different frog species. Frogs improve affected by frogs in their own memplex. When the number of memetic evolutions reaches a certain value, data is exchanged between different memplexes and new memplexes are created. In this way, the algorithm tries to reach local and global optimal solutions. The algorithm terminates by applying a certain number of local search and mixing operations [24].

The algorithmic operation of the Shuffled Frog Leaping Algorithm is as follows:

1. A random research space, which is consisted of candidate solutions, each of which is called as a frog, is created.
2. The objective function values are calculated for each frog.
3. The research space is ranked from the best solution to the worst solution.
4. The research space is divided into sections called memplexes.
5. Starting from the best, the frogs are selected as many as the number of memplexes and they are distributed to each memplex. This process is repeated for all frogs.
6. Then, the local search operation is performed in each memplex.

- a) The local search process aims to improve the worst element in each memeplex. For this purpose, the worst frog is removed from the memeplex.
- b) Instead, a new one is included into the memeplex according to the following formula.

$$x_{new} = x_{old} + (x_{localbest} - x_{worst}) * rand \quad (1)$$

- c) If the new frog is no better than the old, the following formula is applied.

$$x_{new} = x_{old} + (x_{globalbest} - x_{worst}) * rand \quad (2)$$

- d) If the new frog is no better than the old, the new frog is randomly produced.
7. After the local search, repeat from Step 3 until the termination condition is met [14].

The flow diagram of Shuffled Frog Leaping Algorithm is given in Fig. 1.

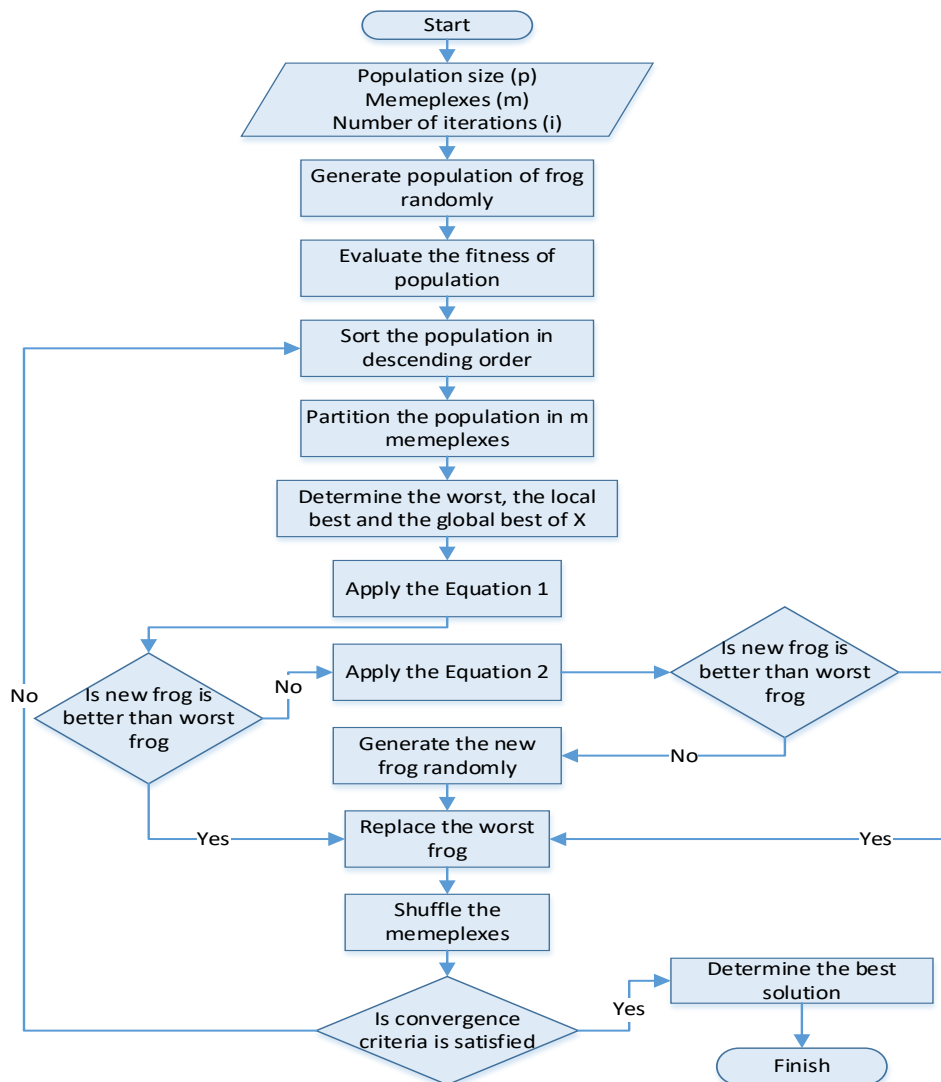


Fig. 1. The flow diagram of Shuffled Frog Leaping Algorithm

2.2. Artificial Atom Algorithm

Artificial Atom Algorithm (A^3) which is inspired by chemical reactions, is a meta-heuristic method. This algorithm carries out operations on electrons, atoms and an atom set. The algorithm uses

two algorithmic operators. A^3 aims to maintain and replicate best solutions with the covalent bond operator. It tries to achieve the global optimal value with the ionic bond operator. For this purpose, first covalent bond then ionic bond is applied to the randomly generated atom set within its boundaries. Obtained new atoms are evaluated using the objective function. In addition, electrons are evaluated in terms of their effect on the objective function. Subsequently, electrons and atoms are ordered in themselves. This process continues with the number of iterations [15]. A^3 provides computational time advantage, especially for benchmark problems [25]. The flow diagram of A^3 is given in Fig. 2.

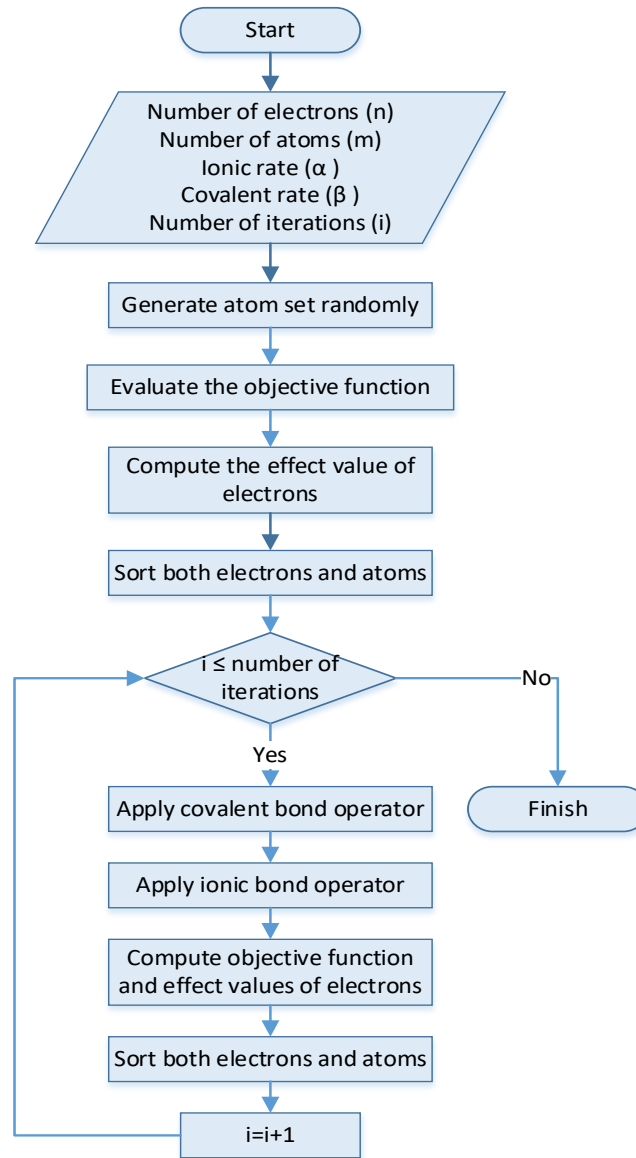


Fig. 2. The flow diagram of Artificial Atom Algorithm (A^3)

3. Improved Artificial Atom Algorithm

The success of A^3 on benchmark problems and discrete problems has been shown in previous studies [15, 26-30]. It has known that A^3 has achieved quite fast results especially in benchmark problems [25]. It seems to have been influenced by replication principle of the covalent bond operator of A^3 on this case. According to this principle, the better ones are replicated in the atom set. While the ionic bond operator regenerates a portion of the atom set with random elements, even if it is positive to

achieve the global best, but it prevents the search space to narrow. Therefore, in this article, the idea of improving the A^3 is proposed. It has been found appropriate to make this improvement on the ionic bond operator of A^3 . For this improvement, it was inspired by an algorithmic step of Shuffled Frog Leaping Algorithm.

The ionic bond function generates random numbers within boundaries of the attributes for the ionic area of the atom set. This operator is shown in Algorithm 1 [15].

Algorithm 1: Ionic Bond Operator

```

IonicBond (A, m, n,  $\beta$ )
   $j \leftarrow 1, \dots, m$  // m : Number of atoms
   $i \leftarrow \beta n + 1, \dots, n$  //  $\beta$  : Covalent rate
  // n : Number of electrons
   $A_j[i] \leftarrow L_i + \eta * (U_i - L_i)$ 
//  $A_j[i] \in AtomSet$ 
//  $\eta$  : A randomly generated number between 0 and 1
//  $U_i$  : The upper limit for i
//  $L_i$  : The lower limit for i

```

Shuffled Frog Leaping Algorithm also generates random numbers in the frog generation stage. However, it benefits from the best and worst results (frogs) when generating random numbers. For this, it uses following formula [24].

$$x_{new} = x_{old} + (x_{best} - x_{worst}) * rand \quad (3)$$

Therefore, the advantages of these two heuristic algorithms were evaluated and the ionic bond operator of A^3 was improved. Thus, the ionic bond function was modified as follows (Algorithm 2):

Algorithm 2: Improved Ionic Bond Operator

```

IonicBond (A, m, n,  $\beta$ )
   $j \leftarrow 1, \dots, m$  // m : Number of atoms
   $i \leftarrow \beta n + 1, \dots, n$  //  $\beta$  : Covalent rate
  // n : Number of electrons
   $temp \leftarrow |A_j[i_{old\_local\_best}] - A_j[i_{old\_worst}]| * (L_i + \eta * (U_i - L_i))$ 
   $X = IsInRange(temp, L_i, U_i)$ 
  if (X == true)
     $A_j[i] = temp$ 
  end
//  $A_j[i] \in AtomSet$ 
//  $\eta$  : A randomly generated number between 0 and 1
//  $U_i$  : The upper limit for i
//  $L_i$  : The lower limit for i

```

With the update, it is aimed to narrow the search space with the ionic bond function over time. Otherwise, with the ionic bond function, candidate solutions that causative to remove from optimal results are included from the wide search space in the atom set. This progress helps A^3 achieve optimum more quickly.

4. Experimental Results

As a result of the improvement in A^3 , it was tested using benchmark functions to see how the performance changed. For this purpose, six benchmark problems have been identified. The functional definitions of these problems and the bounds of the parameters are given in Table 1 [31].

Table 1. Used benchmark functions in the application

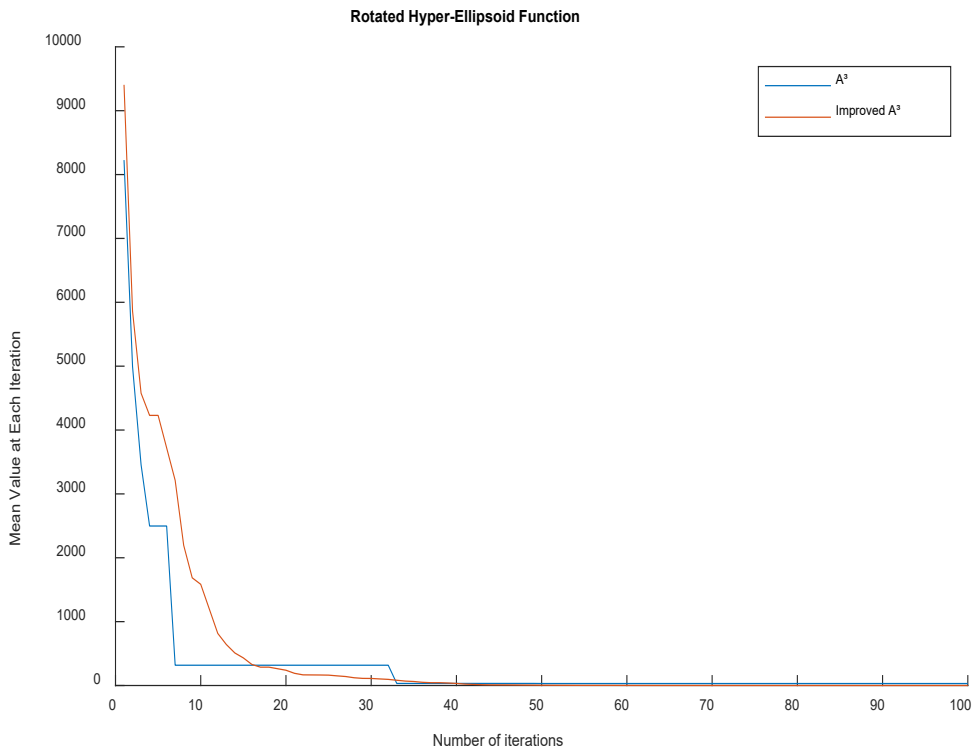
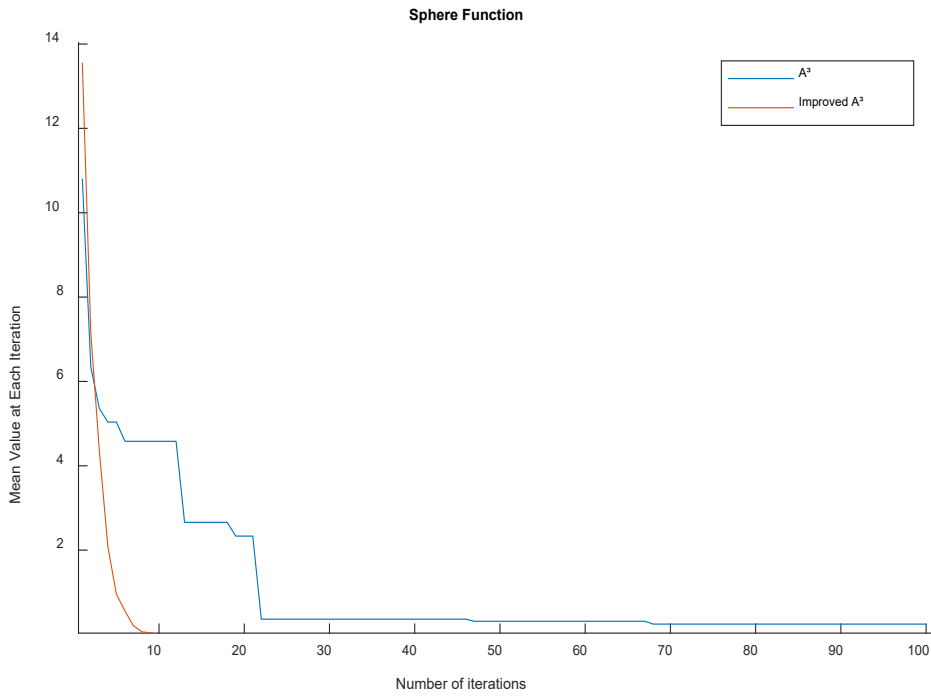
Functions	Definition of Functions	Bounds
Sphere	$f(x) = \sum_{i=1}^n x_i^2$	$-5.12 \leq x_i \leq 5.12$
Rotated Hyper-Ellipsoid	$f(x) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^i x_j^2$	$-100 \leq x_i \leq 100$
Parallel Hyper-Ellipsoid	$f(x) = \sum_{i=1}^n i x_i^2$	$-5.12 \leq x_i \leq 5.12$
Rastrigin (Rotated Rastrigin)	$f(x) = 10n + \sum_{i=1}^n [x_i^2 - 10\cos(2\pi x_i)]$	$-5.12 \leq x_i \leq 5.12$
Griewank	$f(x) = \frac{1}{4000} \sum_{i=1}^n x_i^2 - \prod_{i=1}^n \cos\left(\frac{x_i}{\sqrt{i}}\right) + 1$	$-600 \leq x_i \leq 600$
Quartic	$f(x) = \sum_{i=1}^n i x_i^4 + \text{random}[0,1)$	$-1.28 \leq x_i \leq 1.28$

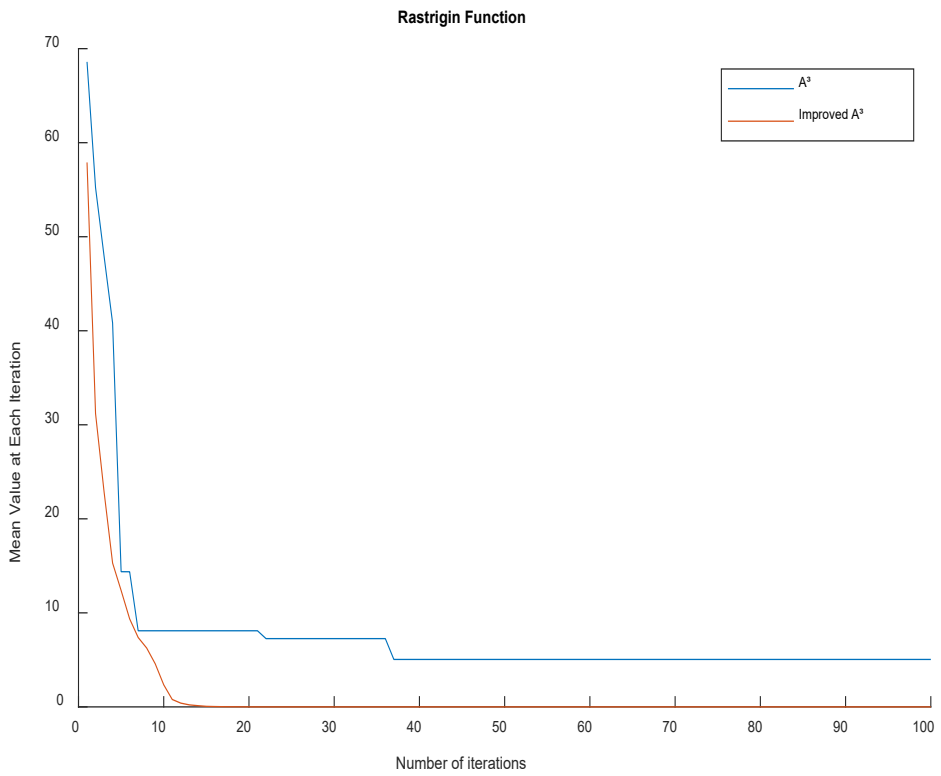
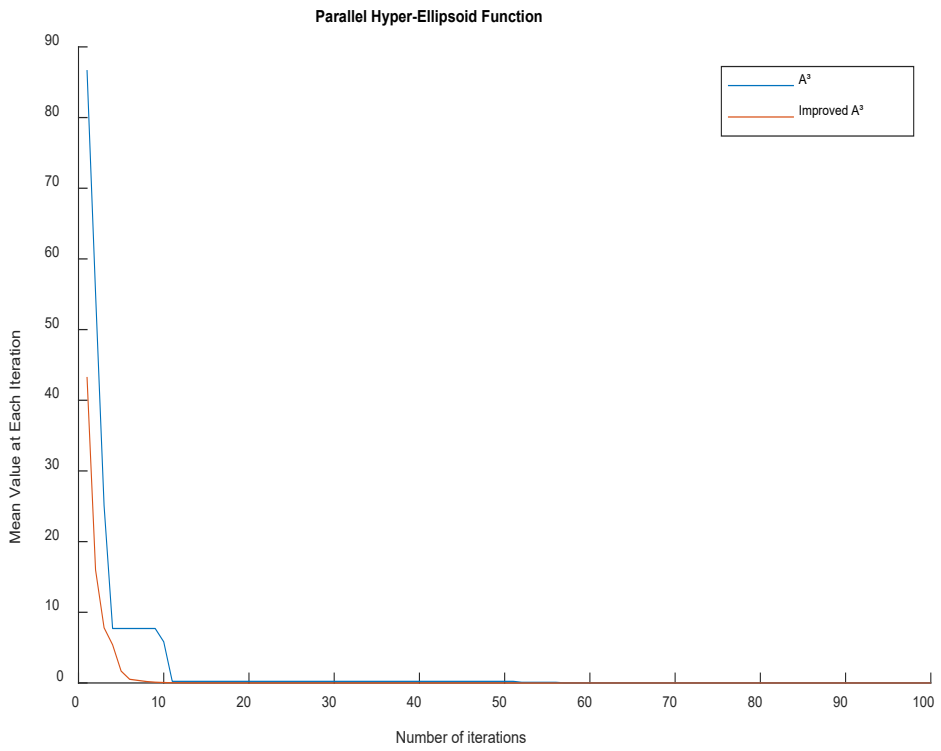
In the solution of these benchmark problems for A^3 and Improved A^3 , the determined parameter settings are presented in Table 2. The same parameter values have been used for A^3 and Improved A^3 .

Table 2. Parameter settings of A^3 and Improved A^3 for benchmark problems

Parameter	Value
Number of electrons	50
Number of atoms	10
Number of iterations	100/1000
Covalent rate (β)	0.6
Ionic rate (α)	0.4

In Fig. 3, it is seen changes that occur in the mean values at each iteration with A^3 and Improved A^3 applications for Sphere, Rotated Hyper-Ellipsoid, Parallel Hyper-Ellipsoid, Rastrigin, Griewank and Quartic functions.





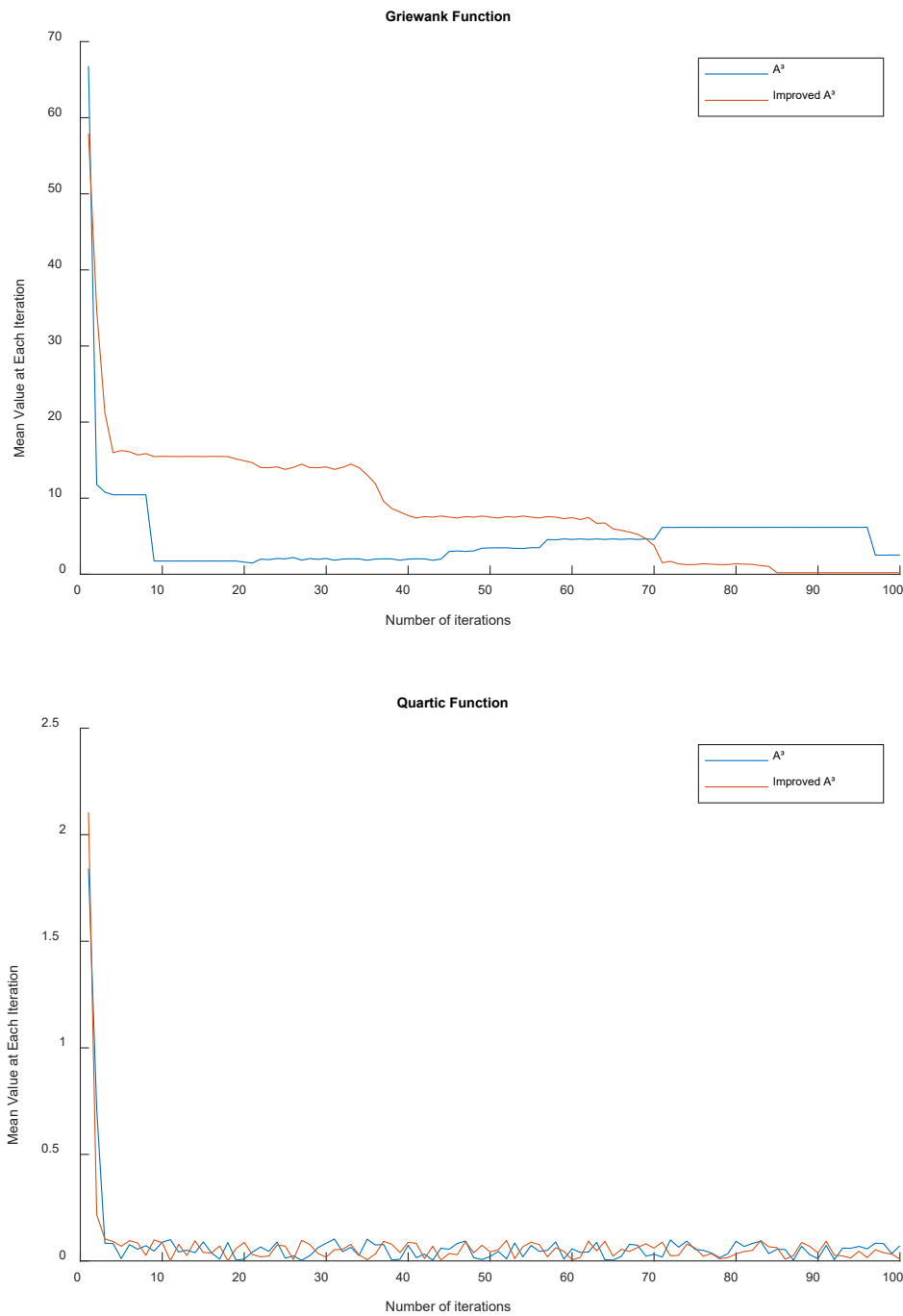


Fig. 3 Application results of A^3 and Improved A^3 for benchmark problems

The performance of the A^3 and Improved A^3 with the operator of the Shuffled Frog Leaping Algorithm for the selected six benchmark problems were compared. The best results were obtained by running both algorithms 20 times. These comparative results are given in Table 3. In addition, global optimum values for these benchmark problems are also shown in Table 3. In addition, the best result shows the best result obtained by running the algorithms 20 times. The mean result shows the average result obtained by running the algorithms 20 times. Here, it should be taken into account that the number of iterations is kept very low in order to show how quickly the proposed method reaches the optimum result.

Table 3. The experimental results for A³ and Improved A³ applications to benchmark problems

Benchmark Problems	Global Min	Iteration Number	A ³			Improved A ³		
			Mean result	Best result	Run-time (s)	Mean result	Best result	Run-time (s)
Sphere	0.0	100	0.2145	1.788E-02	0.0100	1.0022E-34	2.0171E-37	0.1389
		1000	0.0022	1.897E-04	0.0604	0.0	0.0	1.3753
Rotated Hyper-Ellipsoid	0.0	100	642.931	149.672	0.0122	5.4277E-06	7.6720E-08	0.1322
		1000	6.6968	0.0335	0.0852	3.1842E-82	2.3666E-91	1.2256
Parallel Hyper-Ellipsoid	0.0	100	5.1782	0.8609	0.0109	1.0356E-31	1.4878E-34	0.1370
		1000	0.0301	0.0018	0.0623	0.0	0.0	1.3276
Rastrigin (Rotated Rastrigin)	0.0	100	20.305	14.4373	0.0122	0.0	0.0	0.1350
		1000	0.7855	0.0226	0.0841	0.0	0.0	1.3195
Griewank	0.0	100	8.6828	1.8784	0.0160	0.9270	7.0538E-07	0.1240
		1000	1.5229	0.0193	0.1198	0.0	0.0	1.2114
Quartic	0.0	100	3.006E-04	8.329E-09	0.0108	3.2809E-141	1.7267E-147	0.1577
		1000	1.598E-07	2.337E-11	0.0802	0.0	0.0	1.4469

It has been observed that the proposed method achieves optimal results for all selected comparison problems, except for the Rotated Hyper-Ellipsoid problem. Furthermore, when A³ and Improved A³ are compared, it is seen that Improved A³ is quite advantageous in terms of best results; on the other hand, A³ is advantageous in terms of run-time performance.

The Improved A³ method was compared with Genetic Algorithm (GA), Ant Colony Optimization (ACO), Bee Colony Optimization (BCO), Particle Swarm Optimization (PSO), Differential Evolution (DE), Harmony Search (HS) methods that are frequently used in the literature. Additionally, it was compared to the first version of the Artificial Atom Algorithm (A³). The best results were obtained by running all algorithms 20 times.

Parameter settings of the Improved A³ and other compared algorithms are given in Table 4. The maximum number of iterations for all methods is determined as 1000. In addition, for all algorithms, it is defined the number of population and decision variable as 10.

Table 4. The parameter settings for compared algorithms

Algorithm	Parameter	Value
BCO	Trial limit (L)	60
	Acceleration coefficient upper bound (a)	1
DE	Lower bound of scaling factor (β_{min})	0.2
	Upper bound of scaling factor (β_{max})	0.8
	Crossover probability (P_c)	0.2
GA	Crossover probability (P_c)	0.7
	Extra range factor for crossover (γ)	0.4
	Mutation probability (P_m)	0.3
	Mutation rate (mu)	0.1
HS	Harmony memory consideration rate ($HMCR$)	0.9
	Pitch adjustment rate (PAR)	0.1
	Fret width (bandwidth) (Fw)	$0.02*(V_{max}-V_{min})$
	Fret width damp ratio (Fw_{damp})	0.995
PSO	Inertia weight (w)	1
	Inertia weight damping ratio (w_{damp})	0.99
	Personal learning coefficient (c_1)	1.5
	Global learning coefficient (c_2)	2.0
ACO	Intensification factor (selection pressure) (q)	0.5
	Deviation-distance ratio (ζ - zeta)	1
A³	Covalent rate (β)	0.6
	Ionic rate (α)	0.4
Improved A³	Covalent rate (β)	0.6
	Ionic rate (α)	0.4

As seen in Table 5, benchmark problems were used to compare the Improved A³ with BCO, DE, GA, HS, PSO, ACO and A³. In addition, in Table 5, the Improved A³ and the other meta-heuristic

methods were presented comparatively in terms of mean cost, best cost and average run-time when the algorithm ran 20 times.

Table 5. The comparative results of various heuristic methods with the Improved A³

Algorithm	Max Iter=1000 Population=10 Variable=10	Sphere	Rotated Hyper- Ellipsoid	Parallel Hyper- Ellipsoid	Rastrigin (Rotated R.)	Griewank	Quartic
BCO	Mean Cost	0.1005	185.214	0.3882	39.5201	1.3720	0.0785
	Best Cost	5.921e-02	90.6409	2.417e-01	25.626	1.1154	4.176e-02
	Run Time (s)	0.5206	0.5193	0.4997	0.5166	0.5084	0.4933
DE	Mean Cost	2.759e-07	6.247e-04	9.530e-04	1.3393	0.0183	0.0071
	Best Cost	7.232e-22	2.725e-16	4.450e-31	9.977e-01	1.370e-03	3.181e-03
	Run Time (s)	0.2661	0.2735	0.2763	0.2756	0.2600	0.2857
GA	Mean Cost	6.409e-05	0.2205	7.230e-04	0.0247	0.1105	0.0122
	Best Cost	5.305e-05	2.050e-2	8.699e-05	1.667e-02	8.944e-02	3.675e-03
	Run Time (s)	0.4736	0.5076	0.4544	0.5006	0.4952	0.5083
HS	Mean Cost	1.375e-07	2.781e-04	6.371e-07	0.0755	0.0604	0.0189
	Best Cost	9.563e-08	1.326e-04	4.871e-07	1.553e-05	4.689e-02	6.411e-03
	Run Time (s)	0.4779	0.4724	0.4794	0.4656	0.4884	0.4614
PSO	Mean Cost	3.488e-09	9.892e-07	1.809e-09	16.2178	0.1318	0.0084
	Best Cost	2.313e-14	3.924e-13	2.844e-11	7.9597	2.701e-02	2.327e-03
	Run Time (s)	0.2925	0.2919	0.2762	0.2926	0.2749	0.2557
ACO	Mean Cost	1.735e-43	3.281e-40	1.194e-41	16.3966	0.2978	0.0078
	Best Cost	4.194e-44	7.173e-41	2.300e-44	6.0006	5.974e-02	2.385e-03
	Run Time (s)	0.4687	0.4051	0.3943	0.4207	0.4199	0.4827
A ³	Mean Cost	4.570e-04	0.3677	0.0028	0.0655	0.9393	3.763e-10
	Best Cost	1.429e-04	1.5361e-04	1.2899e-03	1.870e-03	7.532e-03	1.427e-12
	Run Time (s)	0.0131	0.0130	0.0130	0.0154	0.0193	0.0132

Improved A³	Mean Cost	8.488e-295	2.7445e-38	2.178e-272	0.0	0.0129	0.0
	Best Cost	9.561e-314	4.5743e-47	0.0	0.0	0.0	0.0
	Run Time (s)	0.3128	0.3152	0.3196	0.3747	0.3213	0.3213

Table 5. Continue

Table 5. reveals that the Improved A³ is the most successful method, reaching the optimum cost for the problems other than Sphere and Rotated Hyper-Ellipsoid, and obtaining the best results compared to the other seven meta-heuristic methods. In addition, it is seen that the proposed method reached the optimum results for most benchmark problems in reasonable time. Furthermore, it is observed that the Improved A³ is only slower than PSO, DE and the first version of A³, in terms of run-time, and faster than other methods compared. This small loss in terms of run-time provided a great advantage in terms of cost. The results reveal that the Improved A³ is a very useful method for the optimization test functions.

In addition to previous comparisons, Table 6 compares the success of Improved A³ in test functions with a recent study in the literature. For this purpose, 7 test functions that are widely used and applicable to the Improved A³ method have been determined. Accordingly, the results obtained for the Improved A³ and the variants of Krill Held algorithm based on Van der Corput sequence (VcKH), Faure sequence (FaKH), and Sobol sequence (ScKH) are given in Table 6 comparatively. For this study, the number of parameters was determined as 10 or 30 (10 for Michalewicz, 30 for others), the population size was 50, and the maximum number of iterations was 300 [32].

Table 6. Comparative results of the Improved A³ method with the variants of the Krill Herd Algorithm

Function	KH		VcKH		FaKH		ScKH		Improved A³	
	Best	Mean	Best	Mean	Best	Mean	Best	Mean	Best	Mean
Sphere	1.74E-02	2.55E-02	1.56E-02	2.34E-02	1.31E-02	2.48E-02	1.63E-02	2.66E-02	4.2448E-14	4.1396E-12
Rastrigin	5.97E+00	1.24E+01	3.46E-04	7.39E-04	3.16E-06	2.16E-05	3.52E-04	9.76E-04	0.0	0.0
Griewank	4.51E-02	8.21E-02	2.52E-02	6.00E-02	4.00E-02	5.89E-02	4.91E-02	8.52E-02	1.0436E-14	1.05E-02
Quartic	3.59E-02	8.49E-02	2.10E-03	9.14E-03	2.02E-03	1.46E-02	3.73E-04	1.79E-02	0.0	0.0
Rosenbrock	2.12E+01	7.49E+01	5.30E-05	1.53E-04	6.07E+00	1.19E+01	2.61E+01	3.07E+01	1.97E-01	3.05E-01
Schwefel	-7.74E+03	-5.48E+03	-1.26E+04	-1.26E+04	-1.26E+04	-1.26E+04	-7.30E+03	-5.21E+03	-8.22E-01	-3.21E-02
Michalewicz	-2.41E+01	-2.12E+01	-2.41E+01	-2.02E+01	-2.36E+01	-2.08E+01	-2.40E+01	-2.07E+01	-1.09E+00	-3.04E+00

The results in Table 6 show that the VcKH method achieves better results for the Rosenbrock test function. In contrast, Table 6 reveals that the Improved A³ method is the most successful method in terms of the best and average results for the other 6 test functions. In addition, the fact that it reaches the global optimum value for Rastrigin and Quartic test functions even in a small iteration, such as 300 iterations, shows the superiority of the Improved A³ method. Furthermore, the Improved A³ method has approached the global optimum for Sphere and Griewank test functions compared to other methods.

In Table 7, the Improved A³ method is presented in comparison with four methods based on the Modified Levy Flight Distribution Algorithm (LFD) [33]. The Improved A³ method was tested with the same parameter values using 7 test functions preferred in the relevant study in the literature. In this study, the number of parameters was determined as 30, the population size was 50, and the maximum number of iterations was 1000. The results were compared in terms of best and mean values [33].

Table 7. Comparative results of the Improved A³ method with the variants of the Modified Levy Flight Distribution Algorithm

Function	Basic LFD		LFDNM-S1		LFDNM-S2		LFDNM-S3		Improved A ³	
	Best	Mean	Best	Mean	Best	Mean	Best	Mean	Best	Mean
Sphere	8.0419 E-08	1.5220 E-07	1.9756 E-08	3.6282 E-08	1.5254 E-09	1.1919 E-08	1.7217 E-44	1.4697 E-42	1.0325 E-50	4.3990 E-48
Schwefel 2.22	1.8925 E-04	3.0625 E-04	9.9580 E-05	1.3472 E-04	2.2527 E-05	3.7902 E-05	4.7253 E-29	2.0705 E-27	3.3940 E-85	6.6181 E-84
Rosenbrock	27.751 7	27.897 7	26.565 3	27.093 9	23.462 9	23.661 2	0.2515	0.4302	0.1852	0.3365
Step	0.5739	1.1480	0.1592	0.5076	6.8912 E-07	2.3949 E-06	5.6266 E-08	1.7721 E-07	4.0394 E-05	7.8422 E-05
Schwefel 2.26	-4.82 4E+03	-4.396 0E+03	-8.341 3E+03	-7.814 8E+03	-8.900 3E+03	-7.608 9E+03	-9.801 3E+03	-8.217 1E+03	-7.541 E+03	-7.541 E+03
Rastrigin	1.5259 E-05	2.8745	2.9721 E-06	0.4463	2.0053 E-06	0.0665	1.2108 E-11	2.2578 E-11	0.0	0.0
Griewank	1.8918 E-07	3.7917 E-07	4.3454 E-08	1.0317 E-07	1.4857 E-08	4.5251 E-08	4.1078 E-14	5.8538 E-14	9.9920 E-16	2.2204 E-17

Table 7 shows that the Improved A³ method has reached the global optimum value for Rastrigin function. In addition, the Improved A³ method obtained better results than the other compared methods for Sphere, Schwefel 2.22, Rosenbrock, Rastrigin and Griewank functions in terms of best and mean values. Only for Step and Schwefel 2.26 functions, LDF variants seem to get better results than Improved A³. Among these, it was seen that the results of LDF variants and Improved A³ for Schwefel 2.26 function were quite close.

In addition to these comparisons, in the study of Bingöl and Yıldırım (2021) using the Salp Swarm Algorithm, it is seen that although they used the low parameter number (number of parameter was determined as 2), they could not obtain better results than the Improved A³ method with 30 parameters [34].

5. Conclusions

A^3 is an intuitive algorithm that contributes to the solution of optimization problems [15,25]. With the ionic bond function of A^3 , a part of the atom set is renewed using the large data set in the search space. This case may lead to a deviation from the solution. In this article, it is aimed that overcomes this problem. For this reason, the ionic bond operator of A^3 has been improved by benefiting an operator of Shuffled Frog Leaping Algorithm.

When the ionic bond operator of A^3 was improved, it was inspired by the operator, which was used to add a new frog into the memplex in the Shuffled Frog Leaping Algorithm. Thus, the ionic bond operator was carried out by narrowing the search space between the best and worst results in atom set. Consequently, it was expected to provide a better optimization with Improved A^3 .

The proposed method was first tested comparatively on 6 benchmark problems. It was compared to the 7 different meta-heuristic algorithm. For all these problems, Improved A^3 produced more successful results than A^3 and the other heuristics. Furthermore, Improved A^3 achieved the optimum results for these 6 problems except Rotated Hyper-Ellipsoid. In addition, it was seen to be advantageous in terms of the number of iterations over A^3 and many other meta-heuristic algorithms [25]. The improved A^3 method is the only algorithm that reaches best result for the most test functions in the number of iterations determined among the compared algorithms. In terms of run-time, it is faster than all comparable methods except for DE, PSO and the first version of A^3 . Considering the performance-runtime balance, Improved A^3 is clearly superior to all other methods. In addition to these applications, two comparison were made with the variants of the Krill Held Algorithm [32] and Levy Flight Distribution Algorithm [33] in recent studies in the literature for 7 selected test functions. In the first of these comparison, the Improved A^3 method achieved the best results for all test functions except the Rosenbrock function. It has also proven to be far superior to all of the Kh, VcKH, FaKH and ScKH methods, reaching the global best for the Rastrigin and Quartic methods. In the second of these comparison, the Improved A^3 method achieved the best results for all test functions except the Step and Schwefel 2.22 test functions. In addition, the proposed method has achieved great success by achieving the global best result for the Rastrigin function. The comparison results clearly show the superiority of the Improved A^3 method, both according to the current studies in the literature and according to the results obtained with the 7 most known meta-heuristic algorithms.

With the improvement in A^3 , the successful position of the algorithm among meta-heuristic algorithms is further strengthened. In future studies, it is possible to solve engineering design problems or discrete problems using Improved A^3 and evaluate whether the algorithm is also successful for these problems.

References

- [1] Yıldırım AE. Yapay atom algoritması ve ayrık problemlere uygulanması (in Turkish). PhD. Thesis, Institute of Natural and Applied Science, Malatya: Inonu University, Turkey; 2018.
- [2] Pérez J, Valdez F, Castillo O. Bat algorithm comparison with genetic algorithm using benchmark functions. In: Castillo O, Melin P, Pedrycz W, Kacprzyk J. (eds) Recent Advances on Hybrid Approaches for Designing Intelligent Systems. Studies in Computational Intelligence, 547, Springer, Cham; 2014
- [3] Onwubolu GC, Clerc M. Optimal path for automated drilling operations by a new heuristic approach using particle swarm optimization. Int J Prod Res 2004; 42(3), 473–491.
- [4] Karcı A. Theory of saplings growing up algorithm. In: Beliczynski B, Dzielinski A, Iwanowski M, Ribeiro B. (Ed.), Adaptive and Natural Computing Algorithms. Lecture Notes in Computer Science, 4431, 450-460, Springer, Berlin, Heidelberg; 2007.

- [5] Wong LP, Low MYH, Chong CS. A bee colony optimization algorithm for traveling salesman problem. Proceedings of Second Asia International Conference on Modelling & Simulation (AMS), Kuala Lumpur, Malaysia; 2008.
- [6] Dorigo M, Stutzle T. Ant colony optimization. MIT Press, Cambridge, MA; 2004.
- [7] Karcı A. Differential evolution algorithm and its variants. Anatolian Journal of Computer Sciences 2017; 2(1), 10-14.
- [8] Kızılloluk S, Alataş B. Automatic mining of numerical classification rules with parliamentary optimization algorithm. Advances in Electrical and Computer Engineering 2015; 15(4), 17-24.
- [9] Alataş B. Uniform big bang - chaotic big crunch optimization. Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation 2011; 16, 3696-3703.
- [10] Alataş B, Özer, AB. Mining of generalized interesting classification rules with artificial chemical reaction optimization algorithm. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University 2017; 32, 101-118.
- [11] Canayaz M, Karcı A. Cricket behaviour-based evolutionary computation technique in solving engineering optimization problems. Journal of Applied Intelligence 2016; 44, 362-376.
- [12] Yang XS, Gandomi AH. Bat algorithm: a novel approach for global engineering optimization. Journal of Engineering Computations 2012; 29, 464-483.
- [13] Lee KS, Geem ZW. A new structural optimization method based on the harmony search algorithm. Journal of Computers and Structures 2004; 82(9-10), 781-798.
- [14] Eusuff M, Lansey K, Pasha F. Shuffled frog-leaping algorithm: a memetic meta-heuristic for discrete optimization. Journal of Engineering Optimization 2006; 38, 129-154.
- [15] Yıldırım AE, Karcı A. Applications of artificial atom algorithm to small-scale traveling salesman problems. Soft Computing 2018; 22(22), 7619-7631.
- [16] Sastry K, Goldberg D, Kendall G. Genetic Algorithms. In: Burke EK, Kendall G. (eds) Search Methodologies. Springer, Boston, MA; 2005.
- [17] Jain NK, Nangia U, Jain J. A Review of Particle Swarm Optimization. J. Inst. Eng. India Ser. B 2018; 99, 407-411.
- [18] Demir M, Karcı A, Özdemir M. Fidan gelişim algoritması yardımı ile DNA motiflerinin keşfi (in Turkish). Çankaya University Journal of Science and Engineering 2011; 8, 51-62.
- [19] Mallipeddi R, Suganthana PN, Panb QK, Tasgetiren MF. Differential evolution algorithm with ensemble of parameters and mutation strategies. Applied Soft Computing 2011; 11(2), 1679-1696.
- [20] Altunbey F, Alataş B. Overlapping community detection in social networks using parliamentary optimization algorithm. International Journal of Computer Networks and Applications 2015; 2, 12-19.
- [21] Erol OK, Eksin I. A new optimization method: Big Bang-Big Crunch. Advances in Engineering Software 2006; 37, 106-111.
- [22] Karaboğa D. Yapay Zekâ Optimizasyon Algoritmaları (in Turkish), Nobel Publisher, Istanbul, Turkey; 2017.
- [23] Canayaz M. Cırcır böceği algoritması: Yeni bir meta-sezgisel yaklaşım ve uygulamaları (in Turkish). PhD. Thesis, Institute of Natural and Applied Science, Malatya: Inonu University, Turkey; 2015.
- [24] Yetkin, M. Metasezgisel algoritmaların Jeodezi’de kullanımı (in Turkish). Journal of Geomatic Research 2016; 1(1), 8-13.
- [25] Altun S, Varjovi MH, Karcı, A. Performance comparison of different optimization methods under the same conditions. Proceedings of 3rd International Conference on Artificial Intelligence and Data Processing (IDAP), Malatya, Turkey; 2018.
- [26] Yıldırım AE, Karcı A. Solutions of travelling salesman problem using genetic algorithm and atom algorithm. Proceedings of 2nd International Eurasian Conference on Mathematical Sciences and Applications (IECMSA), Sarajevo, Bosnia and Herzegovina; 2013.
- [27] Canayaz M, Demir M. Veri kümelemede yapay atom algoritması ve cırcır böceği algoritmasının karşılaştırılmalı analizi. Proceedings of 4th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science (ISITES), Antalya, Turkey; 2016.

- [28] Yıldırım AE, Karcı A. Group elevator control optimization using artificial atom algorithm. Proceedings of 2nd International Conference on Artificial Intelligence and Data Processing (IDAP), Malatya, Turkey; 2017.
- [29] Yıldırım AE, Karcı A. Application of traveling salesman problem for 81 provinces in Turkey using artificial atom algorithm. Proceedings of 7th International Conference on Advanced Technology & Science (ICAT), Antalya, Turkey; 2018.
- [30] Yıldırım AE, Karcı A. Application of three bar truss problem among engineering design optimization problems using artificial atom algorithm. Proceedings of 3rd International Conference on Artificial Intelligence and Data Processing (IDAP), Malatya, Turkey; 2018.
- [31] Hussain K, Salleh MNM, Cheng S, Naseem R. Common benchmark functions for metaheuristic evaluation: A review. International Journal of Informatics Visualization 2017; 1, 218-223.
- [32] Agushaka OJ, Ezugwu AE-S. Influence of initializing krill herd algorithm with low-discrepancy sequences. IEEE Access 2020; 8, 210891.
- [33] Dündar A, İzci D, Ekinci S, Eker E. A novel modified lévy flight distribution algorithm based on nelder-mead method for function optimization. DUJE 2021; 12(3), 487-497.
- [34] Bingöl H, Yıldırım M. Global optimizasyon için sürü tabanlı bir yaklaşım salp sürü algoritması. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 2021; 33, 51-59.

POMZA, AMORF SİLİKA VE KOLEMANİT KATKILI BASKI VE SOL JEL YÖNTEMİ KULLANILARAK POLYESTER KUMAŞLARIN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Kadri AKÇALI^{1*}, Meliha OKTAV BULUT²

¹Bartın Üniversitesi, Ulus Meslek Yüksekokulu, Tekstil, Giyim, Ayakkabı ve Deri Bölümü, Bartın, 74600, Türkiye

²Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Isparta, 32100, Türkiye

Geliş Tarihi/Received Date: 04.03.2022 Kabul Tarihi/Accepted Date: 13.04.2022 DOI: 10.54365/adyumbd.1082701

ÖZET

Günümüzde konvansiyonel yöntemler yerine alternatif olarak düşük maliyetli, çevreye dost ve doğal esaslı malzemelerin kullanımı ile son ürünlerin özelliklerinin geliştirilmesi çalışmaları tekstil sektöründe de diğer sektörlerde olduğu gibi ön plana çıkmaktadır. Çalışma kapsamında % 100 polyester dokuma kumaş numunelerinin katı partiküllü pomza, amorf silika ve kolemanit katkı malzemeleri kullanılarak pigment baskı tekniği ile kaplanması ve sol jel yöntemi ile baskı fiksajının gerçekleştirilmesi işlemi yapılmıştır. Farklı katkı oranları ile gerçekleştirilen baskı işlemleri sonrasında mevcut kumaş numunelerinin yüzey analizleri yapılarak, mukavemet, aşınma direnci, UV koruma ve hava geçirgenliği özellikleri karşılaştırılarak, elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Sonuç olarak farklı alanlarda kullanım olanaklarına sahip, düşük sıcaklık ve düşük enerji maliyetli, minimum kimyasal kullanımına olanak tanıyan yeni bir işlem adımı oluşturulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Pomza, Amorf silika, Kolemanit, Sol jel, Baskı

IMPROVING THE PHYSICAL PROPERTIES OF POLYESTER FABRIC BY USING PUMICE, AMORPHOUS SILICA AND COLEMANITE ADDITIVE PRINTING AND SOL GEL METHODS

ABSTRACT

Today, the use of low-cost, environmentally friendly and natural-based materials as an alternative to conventional methods and the development of the properties of the final products come to the fore in the textile sector, as in other sectors. In this study, 100% polyester woven fabric samples were coated with pigment printing technique using solid particle pumice, amorphous silica and colemanite additives and printing fixation was carried out by sol gel method. After the printing processes carried out with different additive ratios, the surface analyzes of the existing fabric samples were made and the results obtained were evaluated by comparing their strength, abrasion resistance, UV protection and air permeability properties. As a result, a new process step has been created, which has the possibilities of use in different areas, low temperature and low energy cost, and allows the use of minimum chemicals.

Keywords: Pumice, Amorphous silica, Colemanite, Sol gel, Printing

1. Giriş

Günümüzde meydana gelen teknolojik değişimler ve ekonomik öncelikler tekstil materyallerinden beklenen özelliklerin değişmesine ve materyal uygulamaları üzerine farklı bakış açılarının oluşmasına neden olmuştur. Özellikle son yıllarda gerçekleştirilen akademik çalışmalarda

*e-posta¹ : akcali@bartin.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8737-0140> (Sorumlu Yazar)

e-posta² : oktavbulut@sdu.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0009-5981>

düşük maliyetli, çevreye dost ve enerji maliyetinin minimum olduğu alternatif tekstil bitim işlemleri çalışmalarda sıklıkla yer almaktadır. Tekstil alanında geleneksel yöntemler ile belirli özellikleri barındıran şekilde son ürün haline getirilen kumaş yapılarının yerine multifonksiyonel özelliklere sahip yeni ürün çeşitlerinin üretilmesi alternatif yöntemlerinin geliştirilmesinin temelinde yer almaktadır.

Tekstil bitim işlemlerinde kullanılan alternatif yöntemlerin içerisinde sol jel yönteminin kullanımı geniş yer almaktadır. Solüsyon ve jelleşme kelimelerinden ismini alan sol jel yöntemi ile işlem başlangıç adımında oluşturulan çözelti ile sol eldesi sağlanmakta ve meydana gelen hidroliz, polikondenzasyon ve jelleşme reaksiyonları sonrası jel eldesi söz konusudur [1, 2, 3, 4, 5, 6]. Yaş kimyasal tekniklerden biri olan bu yöntem ile sol jel içerisinde kullanılan kimyasal malzemenin sahip olduğu özelliklerin kumaş yüzeyine aktarımı amaçlanmakta olup, kumaşlara farklı fonksiyonel kullanım özellikleri kazandırılması sağlanabilmektedir. Özellikle düşük sıcaklıklar altında gerçekleşen ve istenilen şekil ve formatta ürünlerin eldesine imkân tanınması sol jel metodunun farklı bilimsel disiplinler ve mühendislik alanlarında tercih edilmesini sağlamaktadır [7, 8].

Temel olarak sol jel işlemi; uygun bir çözücü içerisinde, asit yada baz katalizörlü ortamda, bir metal alkoksit ($M(OR)_n$) veya metal tuzu ($M_A X_n$) ön başlatıcının kullanılması ile hidroliz ve kondenzasyon reaksiyonlarının gerçekleşmesi sonucu meydana gelmektedir [1, 2, 4, 5]. Su dahil olmak üzere birçok çözücü içerisinde rahatlıkla çözünme ve reaksiyona girme eğilimleri nedeniyle metal alkoksitler yaygın olarak kullanılan ön başlatıcılardır. Sol jel prosesinde yaygın olarak kullanılan başlatıcı malzeme silika atomunda dört alkoksi grup ($O-CH_3$) taşıyan silika bileşiklerinden oluşmaktadır. Geniş bir kullanım oranına sahip tetraetoksisilan (TEOS, $Si(OC_2H_5)_4$) bu bileşiklere örnek olarak verilebilir [3, 5, 7].

Sol jel işleminde ilk adım olan asit ya da alkali katalizli olarak gerçekleştirilen hidroliz reaksiyonu sırasında alkoksi grupları ($-OR$), hidroksil ($-OH$) grupları ile yer değiştirmektedirler. Reaksiyon sonucunda meydana çıkan hidroliz ürünleri çözelti içerisinde bulunan ve çapraz bağlar ile bağlanan metal partikülleridir. Bu sırada çözeltiler; saydam, stabil ve 50 nm'den daha küçük partikül çapına sahip nano büyüklükte dispersiyonlardır. Bu nanosollerin sahip olduğu; yüksek depolama stabilitesi, tekstil yüzeylerine iyi yapışma özelliği ve düşük sıcaklıklar altında hızlı kuruma sürelerine sahip olma özellikleri önemli avantajlar oluşturmaktadır [2]. Hidroliz reaksiyonu sonrasında çözelti içerisinde metal oksitler ile metal hidroksitler arasında kondenzasyon reaksiyonları gerçekleşmektedir. Meydana gelen kondenzasyon reaksiyonları sonucunda polimerizasyon derecesi kritik bir değere ulaşmakta ve jelleşme meydana gelmektedir [3, 5]. Hidroliz ve kondenzasyon reaksiyonları, hazırlanan çözeltinin karıştırılmaya başladığı anda birçok bölgede meydana gelmektedir. Reaksiyonların devamlılığı süresince çözelti içerisinde geniş demetler halinde ağı yapı oluşmaya başlar. Bu ağı yapılar giderek büyüyerek birbirlerine bağlanma eğilimi gösterirler ve jelleşme durumu ortaya çıkar. Reaksiyon hızına ve şekline bağlı olarak oluşan ağı jel yapıların ve buna bağlı olarak son ürünün mikro yapısı kontrol edilebilmektedir [3, 9, 10].

Sol jel yöntemi kullanılarak elde edilen sol jel çözeltilerinin farklı yöntemler kullanılarak kaplama işlemi gerçekleştirilebilmektedir. Bu yöntemler daldırma, püskürtme yolu ile kaplama, akış yöntemi ile kaplama, çekim ve döndürme yöntemi ile kaplama, laminer kaplama, merdaneli kaplama ve baskı yolu ile kaplama yöntemleridir.

Sol jel yönteminin kullanımı ile literatürde yer alan çalışmalarda tekstil kumaşlarına güç tutuşurluk, yağ iticilik, yüksek yıkma ve renk haslıkları, UV direncin geliştirilmesi, hava geçirgenlik değerinin iyileştirilmesi, anti statiklik, güç tutuşurluk gibi birçok farklı özelliğin kazandırılması sözkonusudur [11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21].

Asidik ve bazik karakterli volkanik kayaç türlerinden biri olan pomza; makro ve mikro ölçekli gözenekli bir yapıda olup bu gözeneklerin varlığı sayesinde ısı ve ses yalıtımında yüksek özelliklere sahiptir [22, 23, 24, 25]. Yapısındaki SiO_2 sayesinde abrasif (aşındırıcı) özellik göstermekte, Al_2O_3 bileşimi ise ısıya karşı yüksek dayanım özelliği göstermesini sağlamaktadır. Ayrıca kimyasal yapısında bulunan Na_2O ve K_2O nedeniyle tekstil sanayinde kullanılmaktadır [24, 26, 27].

Amorf silika yapısında kolloidal silis partikülleri içeren akışkanların yeryüzüne çıkararak soğuması sonucu oluşan beyaz renkli tortul bir kayaç türüdür [28, 29, 30]. Yapısında yer alan dayanıklı Si-O bağlarının varlığı ile termal genişleme katsayısı düşük bir malzeme özelliği gösteren amorf silika; ultraviyole ışınlarına karşı dayanımı ile ideal bir refraktif malzemedir [31, 32].

Ülkemizde özellikle volkanik ve hidrotermal aktivitenin yüksek olduğu bölgelerde sıklıkla bulunan bor elementinin yapısında farklı oranlarda bor oksit (B_2O_3) içeren ve ticari önemi olan yaklaşık 230 çeşidi bulunmaktadır. Bor mineralleri içerisinde en yaygın olarak bulunanlardan biri de kolemanittir. Kolemanit; silika, kalsiyum, bor, magnezyum, demir ve potasyum oksitleri içeren ve yapısında %50,8 oranında B_2O_3 bulunan birincil bir bor türevidir Cam elyafı eldesinde kullanımı yanısıra nükleer atık depolama alanlarında ve alev geciktirici olarak kullanım alanlarına sahiptir [33, 34].

Çalışma kapsamında doğal yollar ile eldesi sağlanan pomza, amorf silika ve kolemanit kullanılarak baskı ile sol jel teknolojisinin birlikte kullanımına olanak sağlayan yeni bir işlem geliştirilmiş olup; polyester kumaşların fiziksel özelliklerinin geliştirilmesi sağlanmıştır. Yeni oluşturulan işlem adımı ile baskı patının fiksaj işlemlerinde kullanılan yardımcı kimyasallar (binder vs.) yerine sol jel yöntemi kullanılmış olup, minimum düzeyde kimyasal kullanımı sağlanmıştır. Çalışmada kumaş numunelerine katı partiküllü ve doğal esaslı malzemelerin kullanımı ile sahip olduğu özelliklerinin geliştirilmesi sağlanması yanı sıra düşük enerji maliyetli ve çevreye dost bir prosesin oluşturulması söz konusudur.

2. Materyal ve Metod

2.1. Materyal Özellikleri

Çalışma kapsamında %100 polyester (108 g/m^2) dimi dokuma kumaş kullanılmış olup, kumaş sıklık değerleri $50 \text{ çözgü/tel} \times 44 \text{ atkı/tel}$ 'dir. Sol jel çözeltisinin hazırlanması için çözücü olarak etanol (C_2H_5OH , %96, Merck, Almanya) ve saf su kullanılmıştır. Bazik hidroliz işleminde pH ayarlayıcı olarak 0,1 N sodyum hidroksit ($NaOH$, % 100, pelet, Sigma-Aldrich, Almanya) kullanılmıştır. Sol jel çözeltisi için başlatıcı olarak ise; TEOS (% 98, Sigma-Aldrich, Almanya) metal alkoksiti kullanılmıştır.

Pomza ve kolemanit katkılı baskı patlarının hazırlanması işleminde sentetik kıvamlaştırıcı olarak Tubivis VP 681 (anyonik karboksilik asit polimerlerinin amonyum tuzu, CHT, Türkiye) ve fiksator olarak Tubiprint Fixerer RE (non-iyonik melamin formaldehit türevi, CHT, Türkiye) kullanımı söz konusudur. Amorf silika katkılı baskı patlarında ise; kıvamlaştırıcı olarak Alginat SMT (anyonik sodyum alginat, CHT, Türkiye) ve iyon tutucu olarak Verolan TTY (anyonik alkil fosfonat karışımı, Rudolf Duraner, Almanya) seçilmiştir.

Baskı patları katkı malzemesi olarak kullanımı gerçekleştirilen pomza Isparta ili Gelincik bölgesinden, amorf silika yine aynı ilde Keçiborlu İlçesinden temin edilmiş olup, kolemanit ise Balıkesir İli Bigadiç İlçesinde yer alan ETİ madencilik tesislerinden temin edilmiştir. Kullanılan tüm katkı malzemeleri 0,076 mm çaplı gözeneklere sahip 200 numara elekten geçirilmiştir. Malzemelere ait kimyasal ve fiziksel yapı çizelge 1'de verilmektedir.

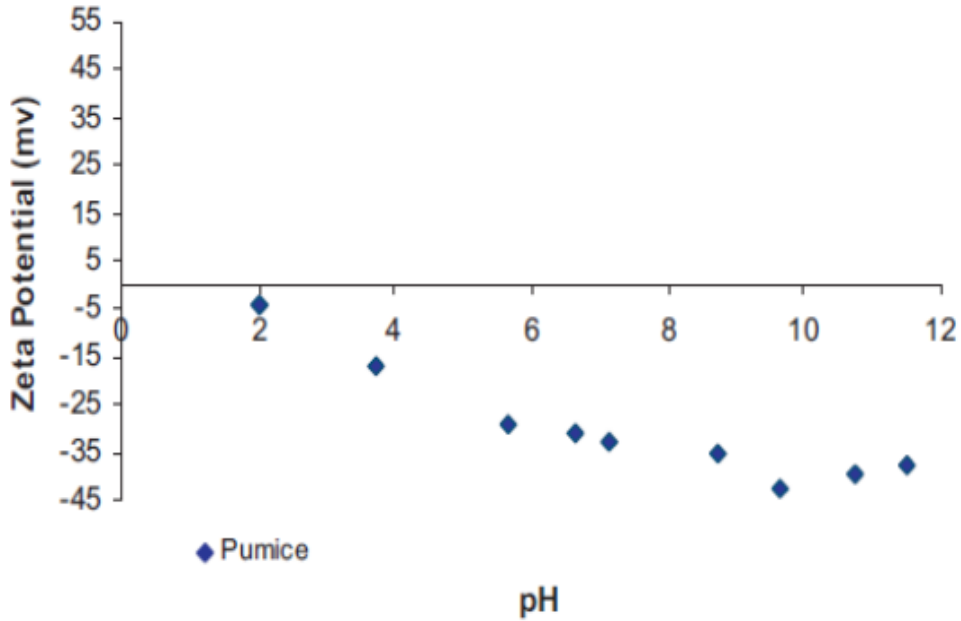
Çizelge 1. Pomza, amorf silika ve kolemanitin fiziksel ve kimyasal yapısı [21].

İçerik	Birim	Pomza	Amorf silika	Kolemanit
B_2O_3	%	-	-	40,00
CaO	%	4,68	0,31	27,00
SiO_2	%	60,50	92,48	4,00 – 6,50

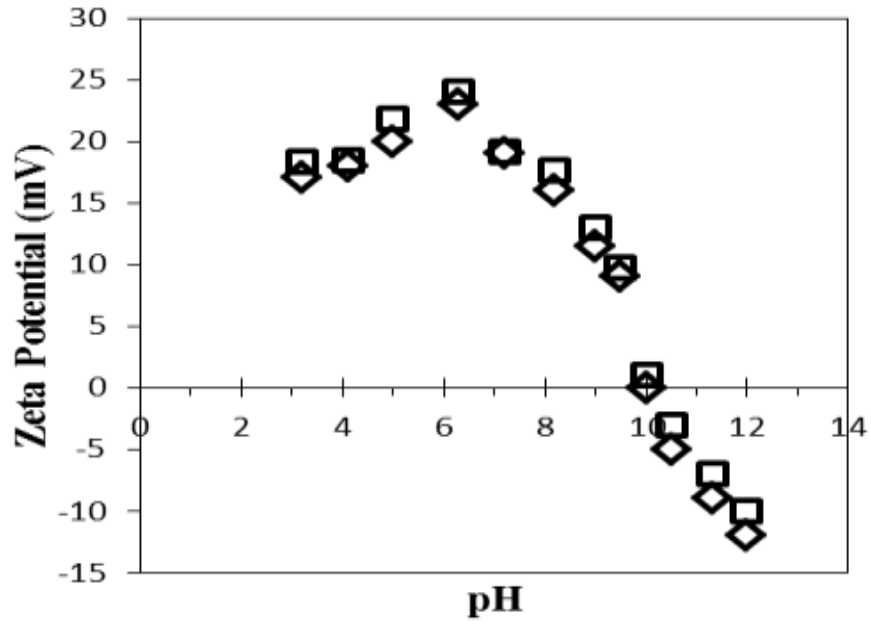
SO ₄	%	-	-	0,60
As	ppm	-	-	35
Fe ₂ O ₃	%	3,38	0,09	0,08
Al ₂ O ₃	%	17,15	2,60	0,40
MgO	%	2,09	-	3,00
SrO	%	-	-	1,50
Na ₂ O	%	4,30	1,08	0,35
SO ₃	%	0,16	0,09	-
K ₂ O	%	4,54	0,04	-
TiO ₂	%	0,41	1,34	-
Limit oksijen indeksi (LOI)	%	2,79	1,85	24,60
Özgül ağırlık (Gs)	g/cm ³	2,40	2,39	2,42
Sertlik	Mohs'a göre	5-5,5	5,5-6	4-4,5

Çizelge 1. Devamı

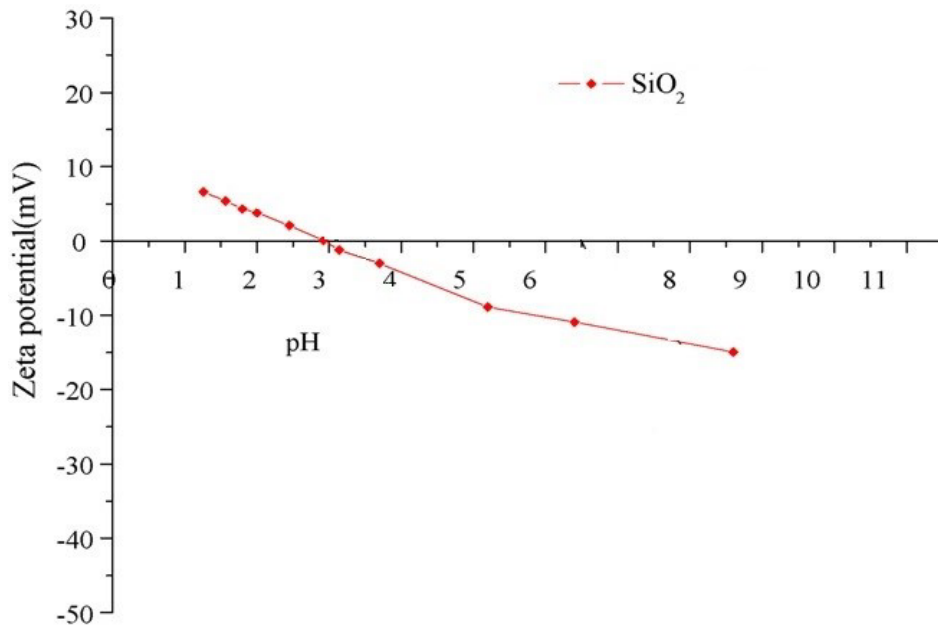
Kumaş numuneleri için katkı malzemesi olarak kullanılan pomza, amorf silika ve kolemanit malzemelerinin zeta potansiyel – pH grafikleri (şekil 1, şekil 2 ve şekil 3) incelendiğinde malzemelerin hepsinin bazik bölgede ortak özellikler gösterdiği ve negatif yüklere sahip oldukları görülmektedir. Bu durum pozitif yüklü metal alkoksitler ile bağların oluşmasını desteklemekte olup bu nedenle sol jel adımının bazik katalizli olarak gerçekleştirilmesine karar verilmiştir.



Şekil 1. Pomza zeta potansiyel – pH grafiği [35].



Şekil 2. Kolemanit zeta potansiyel – pH grafiği [26].



Şekil 3. SiO₂ zeta potansiyel – pH grafiği [36].

2.2. Baskı ve Sol Jel Kaplama Metodu

Çalışmada kumaş numunelerinin kaplama işlemi iki basamakta gerçekleştirilmektedir. İlk basamak olarak kumaş numuneleri hazırlanan baskı patları ile baskı işlemine tabi tutulmakta olup, baskı

işlemi sonrası 100 °C’de 3 dakika kurutma işlemi gerçekleştirilmektedir. Baskı işlemi iki türlü olarak gerçekleştirilmiş olup, baskı işleminde kumaş yüzeyine eşit baskı patının aktarımının sağlanması için işlemler sonrası yaş ağırlıklar tartılarak yaklaşık benzer baskı patı miktarını ihtiva eden kumaş numuneleri ile işlemlere devam edilmiştir. Tüm baskı reçetelerinde pomza, kolemanit ve amorf silika kullanım oranları 25, 50 ve 100 g olarak üç farklı oranda belirlenmiştir. Gerçekleştirilen pigment baskı işlemi için kullanılan reçeteler çizelge 2’de verilmektedir.

Çizelge 2. Pigment baskı için kullanılan baskı reçeteleri

Pomza/kolemanit içeren baskı reçetesi		Amorf silika içeren baskı reçetesi	
Pomza yada kolemanit	25 / 50 / 100 g	Amorf Silika	25 / 50 / 100 g
Su	x g	Su	x g
Tubivis VP 681	17 g	Alginat SMT	40 g
Tubiprint Fixerer RE	10 g	Verolan TTY	1 g
1000 g		1000 g	

Baskı işlemi sonrasında 24 saat standart atmosfer şartlarında (%65±2 izafi rutubet ve 20±2 °C) kondisyonlama işlemi gerçekleştirilen kumaş numunelerine sol jel kaplama işlemi uygulanmıştır. Sol jel hazırlama için kullanılan temel reçete çizelge 3’te verilmektedir.

Çizelge 3. Temel sol jel reçetesi

Kimyasal Maddeler	Miktar
TEOS	11 ml
Etanol	50 ml
Su	35 ml
NaOH	*

(*Sol jel çözeltisinin hazırlanması sırasında pH değerinin 9–10 arasında olacak miktarda 0,1 N NaOH eklenmiştir.)

Sol çözeltisi için kullanılan tüm kimyasallar oda sıcaklığında manyetik karıştırıcı ile hazırlanmış ve işlem saydam bir çözelti elde edilinceye kadar devam ettirilmiştir. Elde edilen karışımın pH değeri 9,7 olarak ölçülmüştür. Saydam sol eldesi sonrası kumaş numuneleri çözelti içerisinden yatay fulard (ATAÇ) yardımı ile 2 bar basınç altında 3,5 m/dk hızla 2 pasaj olarak geçirilmiş ve 100 °C sıcaklık altında 3 dakika süresince fiksaj işlemine (Mathis Labsteamer) tabi tutulmuştur. Kumaş numuneleri tüm test ve analizler öncesinde 24 saat standart atmosfer koşullar altında kondisyonlanmıştır.

2.3. Kumaş Numunelerine Uygulanan Test ve Analizler

Kumaş numunelerinin yüzey morfolojilerinin görüntülenmesi ve % elementel EDS nokta analizleri için Tescan MAIA3 XMU marka yüksek çözünürlüklü taramalı elektron mikroskobu kullanılmış olup, tüm numuneler yüzey görüntülemesi öncesi yüksek vakumlu Au-Pd (altın-paladyum) kaplama işlemine tabi tutulmuştur. Numune üzerindeki elementlerin belirlenmesi için nokta ve alan analizi yöntemleri tercih edilmiştir. Nitel analizler için ise Shimadzu marka IRAffinity-1 model FTIR (Fournier Transform Infrared – Fourier Dönüşümlü Kızılötesi) spektroskopisi cihazı kullanılmıştır.

Polyester kumaş numunelerinin kopma mukavemeti, % kopma uzaması ve yırtılma mukavemeti değerlerinin ölçümü Llyod LR5K Plus mukavemet test cihazında gerçekleştirilmiş olup işlemler için sabit uzama hızı prensibi (CRE – constant rate elongation) kullanılmıştır. Kopma mukavemeti testi TS EN ISO 13934-1, yırtılma mukavemeti TS EN ISO 13937 – 2 standartlarına uygun olarak yapılmıştır.

Pomza, kolemanit ve amorf silika katkılı baskı ve sol jel kaplama işlemine tabi tutulan kumaşların UV yansıtma ve absorban değerlerinin ölçümleri Shimadzu UV-3600 PLUS spektrometre cihazında gerçekleştirilmiştir. Ölçüm dalga boyu olarak AS/NZS 4399-1996 standardı kullanılmış UV bölge olarak 290 – 400 nm dalga boyları arası seçilmiştir.

Kumaşlara ait hava geçirgenlik değerlerinin ölçümü ASTM D 737 standardı kullanılarak Textest FX 3300 test cihazında yapılmıştır.

5000, 10000 ve 20000 devirlerde gerçekleştirilen aşınma direnci ölçümlerinde TS EN ISO 12945-2 standardı kullanılmış olup, Nu-Martindale M 406 boncuklanma ve aşınma test cihazında yapılan testler sonrası kumaş numunelerinde aşınma sonrası meydana gelen yüzde ağırlık değişimi aşağıda verilen denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Ağırlık Kaybı (\%)} = \left[\frac{(W_1 - W_2)}{W_1} \right] \times 100 \quad (1)$$

W₁: Test öncesi ağırlık (g)

W₂: Test sonrası ağırlık (g)

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen tüm analiz ve testlerde elde edilen sonuçların istatistiksel olarak değerlendirilmesi SPSS İstatistik paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiş olup, değerlendirmede varyans homojenlik testi ve One way – Anova testi ile farklı post hoc (çoklu karşılaştırma) tekniklerinin kullanımı söz konusudur.

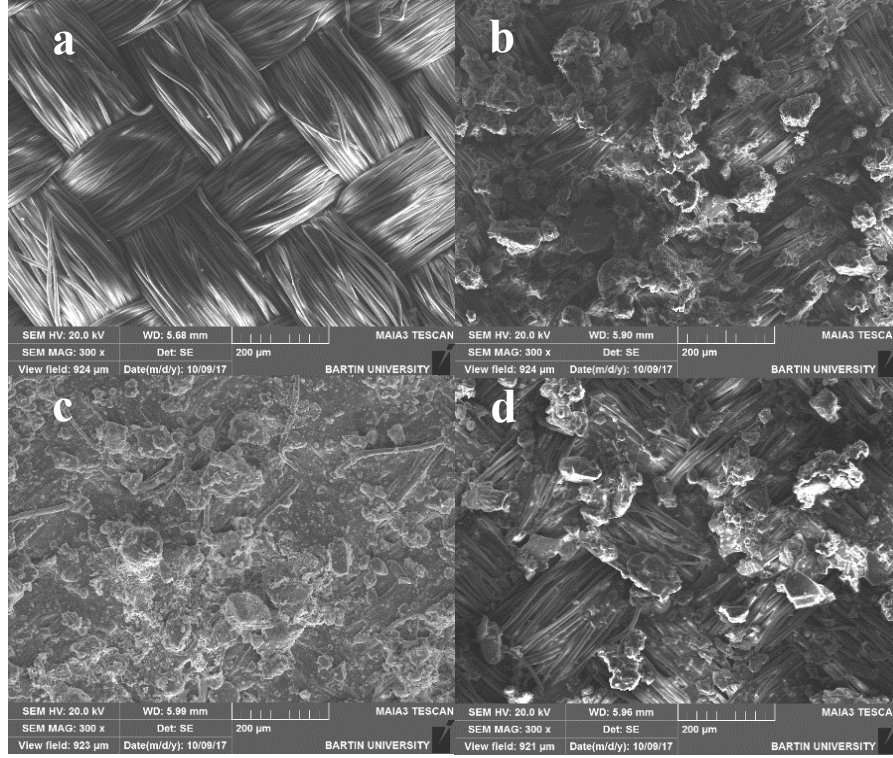
3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Kumaş Yüzey Morfolojileri, % Elementel ve Nitel Analiz Bulguları

Polyester kumaş numunelerine ait yüzey morfolojilerinin görüntülü analizleri için optimum sonuçların elde edildiği 50 g/kg katkılı pomza, kolemaniti ve amorf silica baskı ve sol jel kaplama işlemine tabi tutulmuş kumaş numuneleri kullanılmıştır. Polyester kumaş numunelerine ait SEM görüntüleri şekil 4’de verilmektedir.

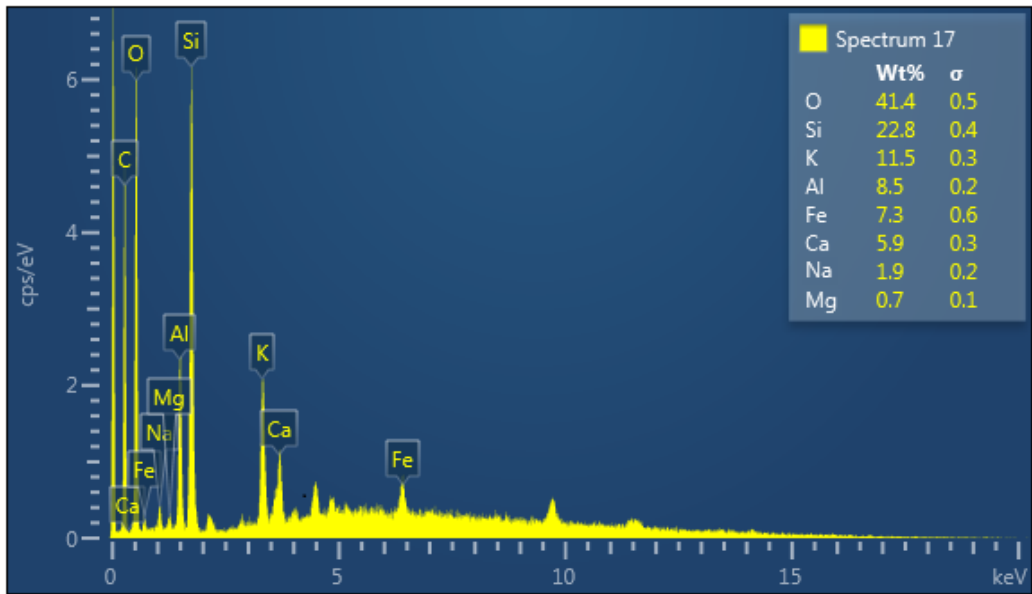
Polyester kumaş numunelerine ait SEM görüntüleri incelendiğinde işlemsiz kumaş numunesine göre pomza, kolamanit ve amorf silica ile işleme alınan kumaş yüzeylerinde katkı malzemeleri ve sol jel kaynaklı yapıların oluştuğu görülmektedir. Ayrıca amorf silica katkılı işlemler sonrası polyester

kumaş numunesinde görüntüsel olarak liflerin seçiminin düştüğü ve yüzeyde yoğun bir katmanın varlığı söz konusudur. Bu katman amorf silika ile yapılan baskı işlemlerinde baskı reçetesinde mevcut kuru madde oranı sentetik kıvamlaştırıcılardan daha fazla oranda olan Alginat SMT kaynaklı olduğu ön görülmektedir.

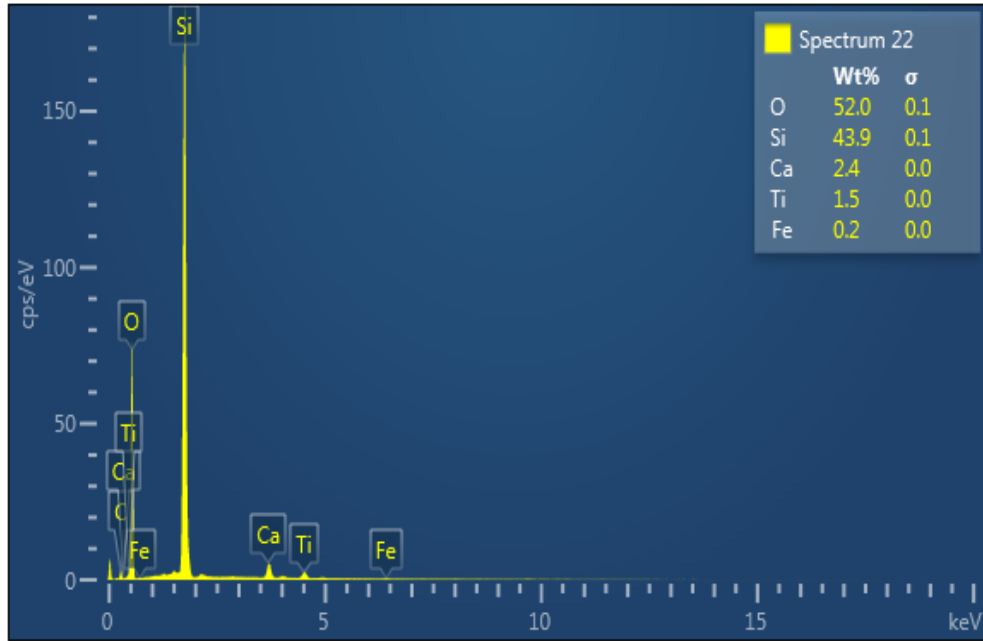


Şekil 4. Kumaş numunelerine ait SEM görüntüleri (a- işlemsiz kumaş, b- pomza katkılı kumaş, c- amorf silika katkılı kumaş, d- kolemanit katkılı kumaş)

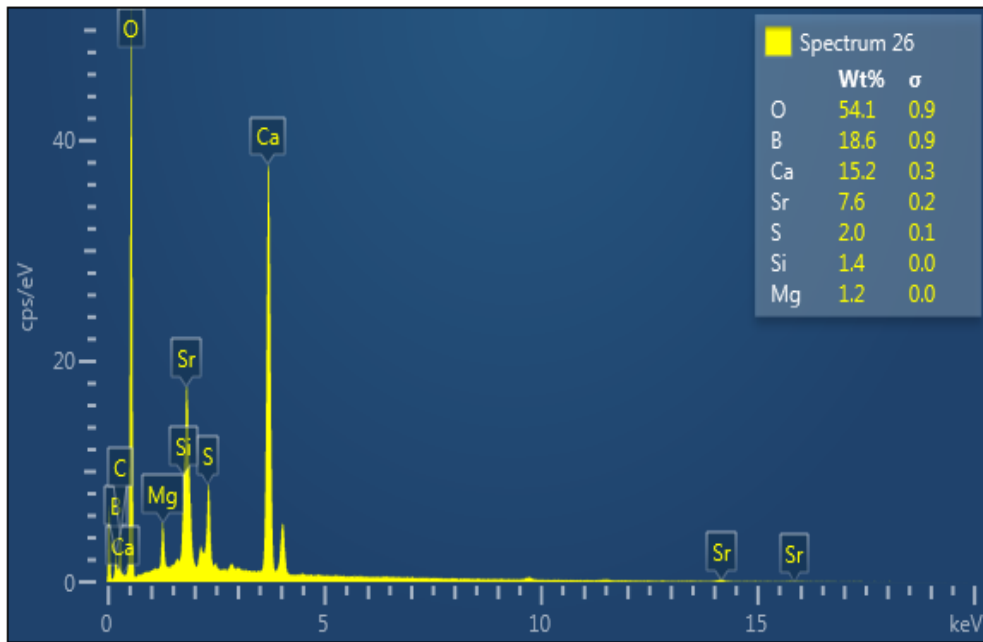
Polyester kumaş numunelerinin katkı malzemesi olarak işleme alındığı pomza, amorf silika ve kolemanit tozlarına ait EDS % elemental analiz sonuçları şekil 5, şekil 6 ve şekil 7’de verilmektedir.



Şekil 5. Pomza EDS analiz sonuçları

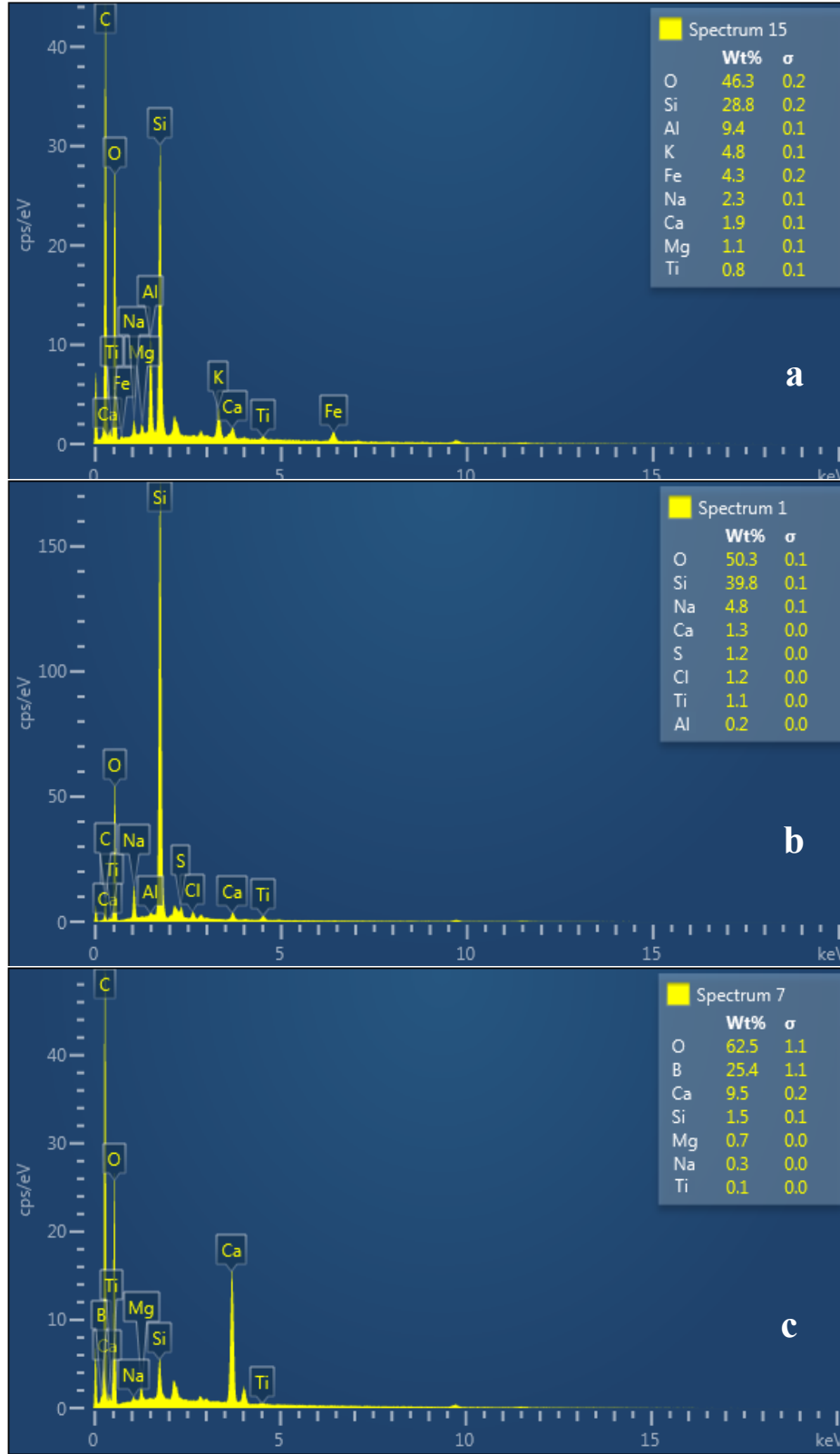


Şekil 6. Amorf silika EDS analiz sonuçları



Şekil 7. Kolemanit EDS analiz sonuçları

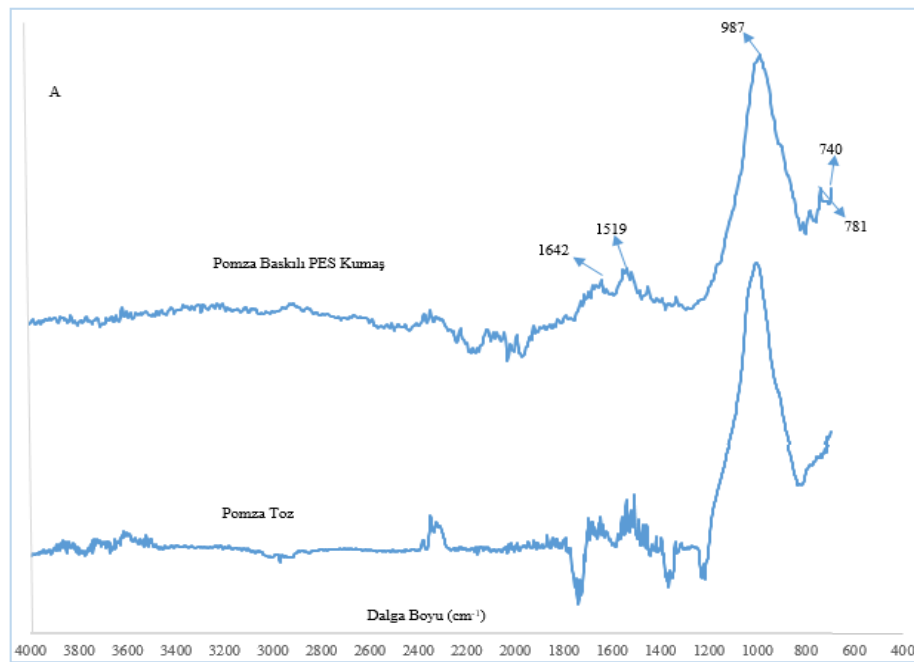
Şekilde 8'de ise pomza, amorf silika ve kolemanit ile işlemler sonrası kumaş yüzeylerinden elde edilen EDS % elemental analiz sonuçları yer almaktadır.



Şekil 8. İşlemler sonrası polyester kumaş numunelerine ait EDS analizi sonuçları (a- pomza reçeteli kumaş numunesi, b- amorf silika reçeteli kumaş numunesi, c- kolemanit reçeteli kumaş numunesi)

Şekilde 5, 6, 7 ve 8 incelendiğinde çalışma kapsamında katkı malzemesi olarak kullanılan pomza, amorf silika ve kolemanite ait kimyasal elementlerin kumaş numunelerinde de varlığı görülmektedir. Pomzaya ait olan silisyum (Si), potasyum (K), alüminyum (Al), demir (Fe), kalsiyum (Ca), sodyum (Na) ve magnezyum (Mg) elementleri polyester kumaş numunesi üzerinde farklı yüzdelik oranlarda bulunduğu gibi, amorf silika yapısında yer alan Si, O, Ca, titanyum (Ti) ve Al ile yine kolemanit yapısında yüksek oranlarda yer alan bor (B) ve Ca elementlerinin polyester kumaşlarda farklı yüzdelik oranlarda bulunduğu görülmektedir. Bu durum katkı malzemelerinin yapısında sahip oldukları elementlerin kumaş numunelerine aktarıldığını kanıtlar niteliktedir.

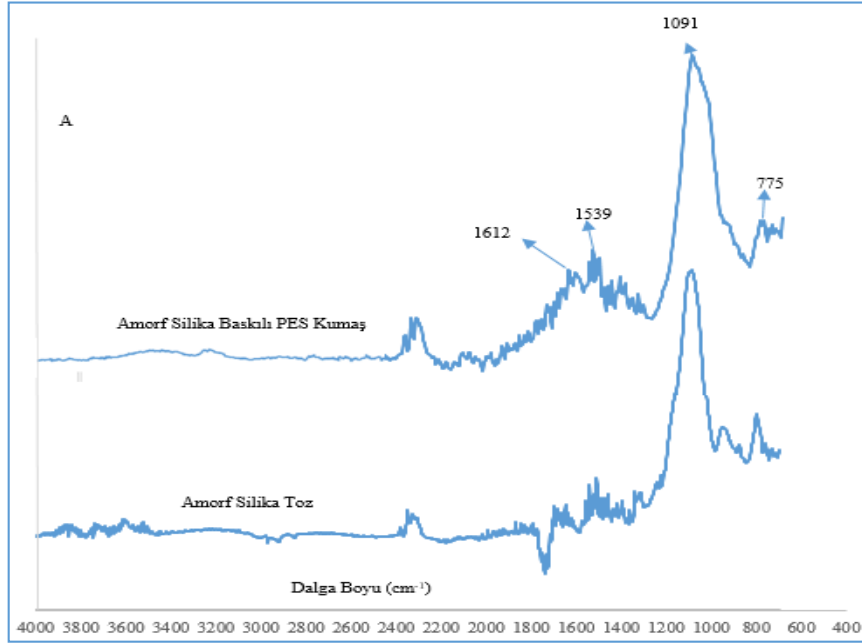
Polyester kumaş numunelerine ait $400\text{ cm}^{-1} - 4000\text{ cm}^{-1}$ dalga boylarında FTIR cihazı ile gerçekleştirilen nitel analizlerin sonuçları şekil 9, şekil 10 ve şekil 11’de verilmektedir.



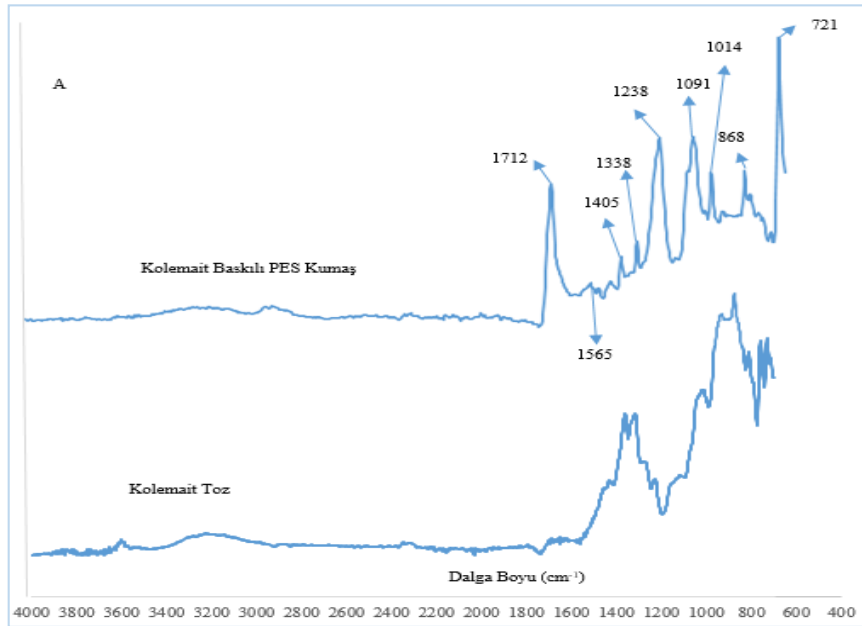
Şekil 9. Pomza toz ve pomza baskılı PES kumaşa ait F-TIR grafiği

Şekil 9’da verilen grafik incelendiğinde $2900\text{ cm}^{-1} - 3000\text{ cm}^{-1}$ dalga boyları arasında oluşan bandın C – H bağı, $3400\text{ cm}^{-1} - 3600\text{ cm}^{-1}$ arasındaki bölgede meydana gelen bandın ise polyester yapısındaki –COOH (karboksil) grubundan kaynaklandığı görülmektedir [18, 37]. $1555\text{ cm}^{-1} - 1650\text{ cm}^{-1}$ dalga boyları arasında yer alan bant C = O kaynaklıdır [38]. 740 cm^{-1} dalga boyunda meydana gelen pik Mg – Fe – OH arası bağlar, 987 cm^{-1} dalga boyundaki pik ise Si = O germe titreşimlerine ve Si – O bağlarına karşılık gelmektedir [13, 20, 38, 39, 40, 41].

Şekil 10 incelendiğinde $3000\text{ cm}^{-1} - 3200\text{ cm}^{-1}$ dalga boyları arasında oluşan bandın C – H bağı temsil ettiği, $3400\text{ cm}^{-1} - 3600\text{ cm}^{-1}$ arasındaki bölgede meydana gelen bandın ise polyester yapısındaki –COOH (karboksil) grubundan kaynaklandığı görülmektedir [18, 37]. $1400\text{ cm}^{-1} - 1690\text{ cm}^{-1}$ dalga boyları arasının COO- ve C=O nedenli olduğu ve bu durumun 1539 cm^{-1} ve 1612 cm^{-1} dalga boyunda pik oluşumunu desteklediği görülmektedir [42]. $1000\text{ cm}^{-1} - 1110\text{ cm}^{-1}$ dalga boyları arasındaki bant Si = O germe titreşimlerine ve Si – O bağlarına karşılık gelmektedir. Bu durum 1091 cm^{-1} dalga boyunda oluşan pikin amorf silika yapısında bulunan SiO_2 kaynaklı olduğunu göstermektedir [13, 20, 40]. 775 cm^{-1} dalga boyunda oluşan pik ise amorf silika ve TEOS kaynaklı SiO_2 bileşimini ifade etmektedir [20, 40].



Şekil 10. Amorf silika toz ve amorf silika baskılı PES kumaşa ait F-TIR grafiği



Şekil 11. Kolemanit toz ve kolemanit baskılı PES kumaşa ait F-TIR grafiği

Şekil 11’de ise kolemaniti katkılı işleme tabi tutulan kumaş numunesi ve kolemaniti tozu ile ilgili FTIR grafiği yer almaktadır. Grafik incelendiğinde $2900\text{ cm}^{-1} - 3000\text{ cm}^{-1}$ dalga boyları arasında oluşan bandın C – H bağımlı temsil ettiği ve polyester yapısındaki –COOH (karboksil) grubundan kaynaklandığı görülmektedir [18, 37]. 1712 cm^{-1} ve 1565 cm^{-1} dalga boylu piklerin C=O (karbonil) kaynaklı olduğu [38] ve $1200\text{ cm}^{-1} - 1500\text{ cm}^{-1}$ dalga boyları arasında oluşan piklerin kolemanit yapısında bulunan B_2O_3 kaynaklı B – OH bağlarını temsil ettiği görülmektedir [41, 43]. 1091 cm^{-1} ve 1014 cm^{-1} dalga boyundaki pikler ise; Si = O kaynaklıdır [20, 38]. 868 cm^{-1} dalga boylu pik kolemanit ve TEOS kaynaklı SiO_2 bileşimini ifade etmektedir [20, 41]. 721 cm^{-1} dalga boylu pik $\text{B}_4 - \text{O}$ kaynaklıdır [44, 45, 46].

3.2. Polyester Kumaş Numunelerine ait Mukavemet Test Bulguları

Çalışma kapsamında polyester kumaş numunelerine uygulanan baskı ve sol jel kaplama işlemleri sonucunda kumaşlara kopma mukavemeti, % kopma uzaması ve yırtılma mukavemeti testleri uygulanmıştır. İşlem standartlarına uygun olarak gerçekleştirilen testlerde 10'ar adet numune ile test tekrarlanmış ve pomza, amorf silika ve kolemanit katkılı işlemler sonucunda elde edilen kumaş kopma mukavemeti ve % kopma uzaması ortalama değerleri çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 4. Polyester kumaşa ait kopma mukavemeti ve % kopma uzaması değerleri

İşlem Türü	Miktar (g/kg)	Kopma Mukavemeti (N)		% Kopma Uzaması	
		Çözü	Atkı	Çözü	Atkı
Pomza katkılı polyester kumaş	100	997,298	868,730	28,74	31,60
	50	934,319	827,306	26,66	30,69
	25	907,882	800,050	25,03	29,28
Amorf silika katkılı polyester kumaş	100	923,495	801,522	25,95	30,85
	50	906,214	782,538	25,23	29,70
	25	900,025	769,064	24,50	28,78
Kolemanit katkılı polyester kumaş	100	993,731	900,096	28,59	30,62
	50	968,744	884,047	28,12	29,47
	25	944,281	879,774	26,28	28,39
İşlemsiz Kumaş	-----	811,051	721,007	29,63	31,76

Çizelge 4 incelendiğinde tüm katkı malzemeleri kullanılarak işleme alınan polyester kumaş numunelerinin kopma mukavemeti değerleri işlemsiz kumaş numunesine göre hem atkı hemde çözü yönünde daha yüksek değerlere sahiptir. Ortalama değerler incelendiğinde çözü ve atkı yönlerinde elde edilen en yüksek kopma mukavemeti değerleri kolemanit katkılı işlemler sonucunda el edilmiş olup, katkı malzemesinin kullanım miktarına göre en üst değerler tüm malzeme çeşitlerinde 100 g/kg kullanım miktarında elde edilmiştir. İşlem görmemiş kumaş elyaf eksenine paralel bir kuvvet uygulandığında elyaf yapısında yer alan makromolekülleri birbirine bağlayan bağlarda uygulanan kuvvete karşı bir direnç oluşturmaktadır, uygulanan kuvvet tepki direncinin üstüne çıktığında kuvvet kırılma eğilimi göstererek elyafın kopmasına neden olmaktadır. Oluşturulan işlem basamağı ile kumaş yüzeyine ikincil bir tabaka uygulanması nedeniyle tüm katkı malzemeleri ile işleme alınan kumaşların kopma mukavemeti değerleri yükselmiştir [6, 21]. Yine çizelge 4 incelendiğinde işlem gören kumaş numunelerini sahip olduğu % kopma uzama değerlerinde bir miktar düşüş meydana geldiği görülmektedir. Bu değer değişiminin temel nedeni işlemler sonucunda kumaş yüzeyinde ikincil bir sert baskı ve sol jel katmanının oluşması ile açıklanmaktadır [21].

Kumaş numunelerine ait yırtılma mukavemeti değerleri çizelge 5'te verilmektedir.

Çizelge 5. Polyester kumaşa ait yırtılma mukavemeti değerleri

İşlem Türü	Miktar (g/kg)	Yırtılma Mukavemeti (N)	
		Çözü	Atkı
Pomza katkılı polyester kumaş	100	44,93	34,52
	50	43,02	33,83
	25	40,33	31,08

Amorf silika katkılı polyester kumaş	100	44,95	34,05
	50	43,19	33,36
	25	38,10	31,28
Kolemanit katkılı polyester kumaş	100	47,14	37,16
	50	46,09	36,08
	25	43,27	34,22
İşlemsiz Kumaş	-----	37,56	30,91

Çizelge 5. Devamı

Çizelge 5 incelendiğinde gerçekleşen işlemler sonrası en yüksek yırtılma mukavemeti değerinin 100 g/kg kolemanit katkı malzemesi içeren kumaş numunesinde olduğu, tüm katkı malzemeleri için katkı malzemesi düzeyine paralel olarak yırtılma mukavemeti değerlerinin işlemsiz kumaş numunesine göre daha yüksek değerlerde olduğu görülmektedir.

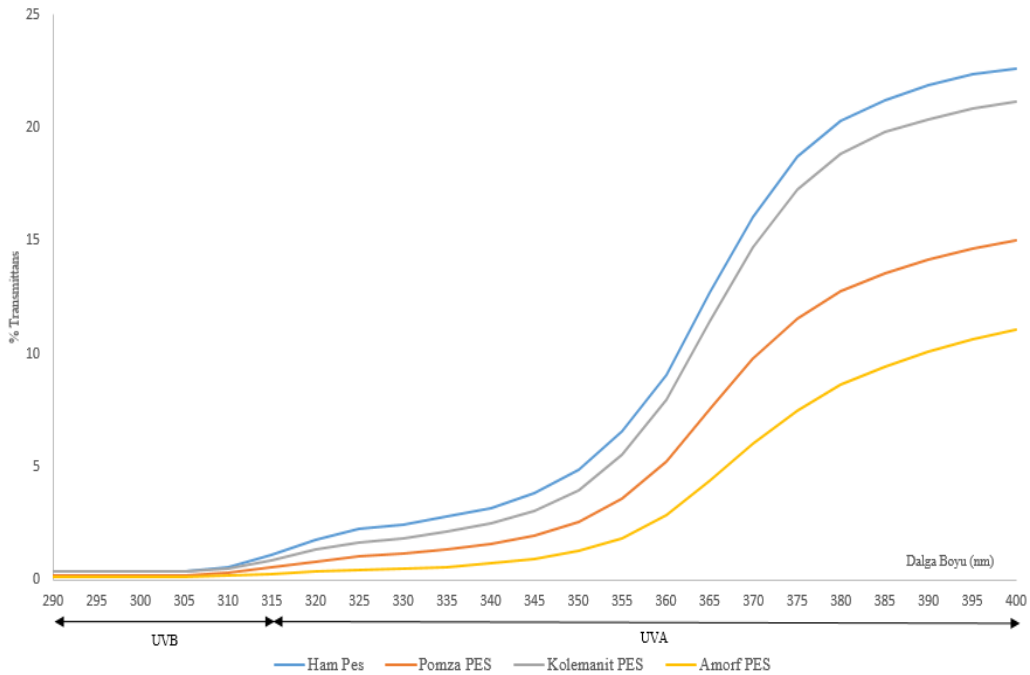
3.3. Kumaş Numunelerinin UV Yansıtma ve Transmittans (Geçirgenlik) Ölçüm Bulguları

Tüm tekstil kumaş yapılarının güneşin UV radyasyonunu farklı oranlarda yansıtma ve geçirgenlik özellikleri bulunmaktadır [47, 48, 49]. Çalışma kapsamında baskı ve sol jel kaplama işlemlerinden geçirilen kumaş numunelerinin 5nm dalga boyu aralıklı UV A (315 – 400 nm) ve UV B (290 – 315 nm) bölgelerinde AS / NZS 4399 – 1996 standardına uygun olarak ölçümleri yapılmıştır. UVA ve UVB değerlerinin ölçümlerinde kullanılan denklemler aşağıda verilmektedir.

$$UVA = [(T_{315} + T_{320} + \dots + T_{400}) / 18] \quad (2)$$

$$UVB = [(T_{290} + T_{295} + \dots + T_{315}) / 6] \quad (3)$$

Polyester kumaş numunelerine ait % transmittans ölçüm grafiği şekil 12’de verilmektedir.



Şekil 12. Polyester kumaş numuneleri % transmittans ölçüm grafiği

Polyester kumaş numunelerine ait UVA ve UVB değerleri ise çizelge 6'da yer almaktadır.

Çizelge 6. Polyester kumaş numuneleri % UVA ve % UVB değerleri

Numune	% UV A	% UV B
İşlemsiz Polyester Kumaş	10,77	0,52
Pomza Baskılı Polyester Kumaş	6,61	0,28
Kolemanit Baskılı Polyester Kumaş	9,74	0,46
Amorf Silika Baskılı Polyester Kumaş	4,31	0,17

Elde edilen veriler incelendiğinde amorf silika katkılı baskı ve sol jel işlemi sonrası polyester kumaş numunelerinin UV A ve UV B bölgelerinde en düşük % transmittans değerlerine sahip oldukları sonucu elde edilmiştir.

Çizelge 7. AS/NZS 4399 – 1966 standardı UPF değerlendirme çizelgesi

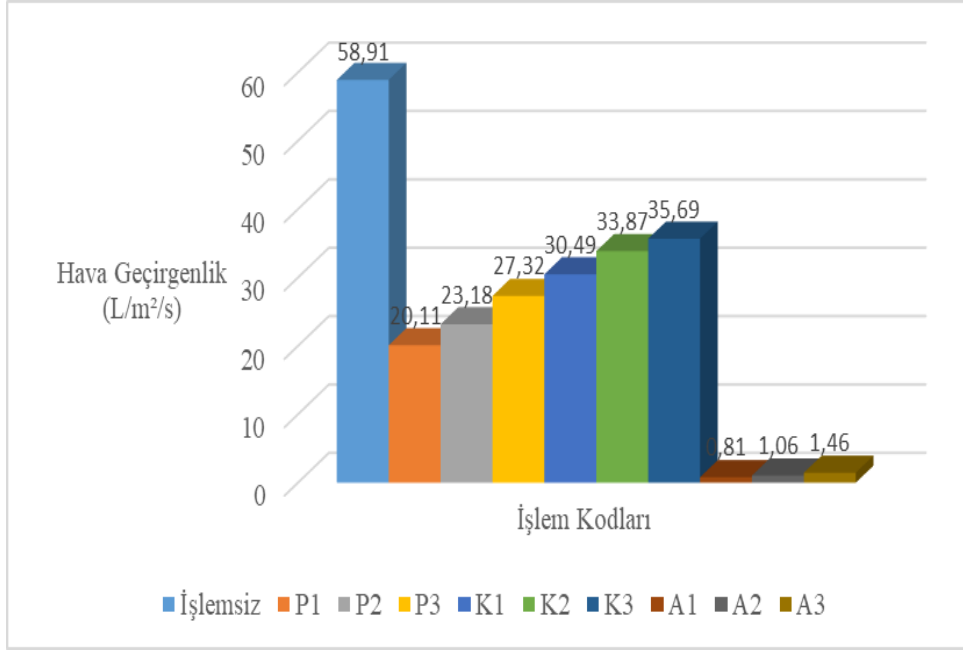
UPF Değeri	Ortalama UVA	Değerlendirme
15 – 24	6,7 – 4,2	İyi
25 – 30	4,1 – 2,6	Oldukça İyi
> 40	< 2,5	Mükemmel

Çizelge 7'de verilen UPF değerlendirme tablosu incelendiğinde amorf silika katkılı polyester kumaş numunelerinin iyi UV geçirgenlik değerine sahip oldukları ve bu durumun amorf silikanın sahip olduğu refraktif optik malzeme özelliği kaynaklı olduğu sonucuna varılmıştır. Amorf silikanın refraktif özellik göstermesinin temel nedeni yapısında bulunan hidroksillerin (OH-) bazı dalga boylarını iyi absorblayabilmesi ve Si - O titreşiminin yüksek aralıklarda absorblayabilme özelliğidir [50].

3.4. Kumaş Numunelerinin Hava Geçirgenlik Değeri Bulguları

Çalışma kapsamında elde edilen kumaş numunelerine standartlara uygun şekilde 10 farklı bölgeden hava geçirgenlik değer ölçümü gerçekleştirilmiştir. Elde edilen ortalama sonuçlar şekil 13'te grafik olarak sunulmuştur.

Şekil 13'te verilen grafik incelendiğinde tüm farklı katkı malzemelerinin kullanıldığı işlemler sonrasında elde edilen kumaş numunelerinin hava geçirgenlik değerlerinin işlemsiz kumaş numunesine göre düşük olduğu görülmektedir. En düşük hava geçirgenlik değeri amorf silika katkılı yapılan işlemler sonucu elde edilmiş olup, katkı malzeme miktarının en düşük olduğu (25g/kg) işlemler sonucunda hava geçirgenlik değerlerinin daha yüksek oranlarda sağlanması söz konusudur.



Şekil 13. Polyester kumaş numuneleri ortalama hava geçirgenlik değer grafiği

3.5. Kumaş Numunelerinin Aşınma Direnci Bulguları

Çalışma kapsamında kumaş numunelerinin aşınma direnci değerlerinin ölçümünde kumaş gramajının 500 g/m² değerinden düşük olması nedeniyle 9 kg/Pa ağırlık kullanılmış olup, test standartlarına uygun olarak 5 numune üzerinden gerçekleştirilmiştir. Tüm numuneler için farklı devirler (5000, 10000, 20000) sonrası % ağırlık değişim değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar çizelge 8’de verilmektedir. Çizelge incelendiğinde 20000 devir sonrası en düşük % ağırlık kaybı değerine amorf silika katkılı baskı ve sol jel işleminden geçirilen polyester kumaş numunelerinin sahip olduğu görülmektedir. Tüm kumaş numuneleri işlemsiz polyester kumaş numunesine oranla aşınma direncine karşı daha dayanımlı hale gelmiş olup 5000, 10000 ve 20000 devirler sonrası elde edilen % ağırlık kaybı değerleri bu durumu kanıtlar niteliktedir. Kumaşlar üzerinde oluşturulan ikincil tabaka sayesinde kumaşların gramajlarında artış görülürken aşınma karşısında yüksek direnç gösterdikleri sonucu elde edilmiştir.

Çizelge 8. Polyester kumaş numuneleri aşınma direnci test sonuçları

Numune	Gramaj (g/m ²)	5000 devir sonrası Gramaj (g/m ²)	% Ağırlık Kaybı	10000 devir sonrası Gramaj (g/m ²)	% Ağırlık Kaybı	20000 devir sonrası Gramaj (g/m ²)	% Ağırlık Kaybı
İşlemsiz	0,185	0,176	4,864	0,169	8,648	0,165	10,810
*P1	0,301	0,294	2,325	0,290	3,654	0,287	4,651
*P2	0,290	0,282	2,758	0,279	3,793	0,277	4,482
*P3	0,285	0,278	2,456	0,276	3,157	0,273	4,210
*A1	0,302	0,297	1,655	0,295	2,317	0,292	3,311
*A2	0,294	0,290	1,360	0,288	2,040	0,286	2,721
*A3	0,290	0,286	1,379	0,284	2,068	0,283	2,413
*K1	0,267	0,251	5,992	0,249	6,741	0,246	7,865
*K2	0,251	0,234	6,772	0,231	7,968	0,229	8,764
*K3	0,246	0,233	5,284	0,230	6,504	0,227	7,723

* P1: 100g/kg pomza katkılı kumaş, P2: 50g/kg pomza katkılı kumaş, P3: 25g/kg pomza katkılı kumaş, A1: 100g/kg amorf silika katkılı kumaş, A2: 50g/kg amorf silika katkılı kumaş, A3: 25g/kg amorf silika katkılı kumaş, K1: 100g/kg kolemanit katkılı kumaş, K2: 50g/kg kolemanit katkılı kumaş, K3: 25g/kg kolemanit katkılı kumaş

4. Sonuç

Çalışma kapsamında polyester kumaş numuneleri pomza, amorf silika ve kolemanit katkı malzemeleri kullanılarak baskı işlemine alınmıştır. Baskı işlemi reçetesinde standart baskı yöntemi yerine sadece kıvamlaştırıcı kullanımı söz konusu olup, baskı fiksajı sol jel kaplama işlemi ile gerçekleştirilerek doğal esaslı malzemeler içeren ikincil tabakanın korunması sağlanmıştır.

Sol jel yöntemi seçiminde katkı malzemesi olarak kullanımı söz konusu olan pomza, amorf silika ve kolemanit maddelerinin zeta potansiyelleri incelenerek bazik katalizli bir sol jel yöntemi seçilmiştir. Gerçekleştirilen yüzey görüntülemeleri, EDS ve FTIR analizleri sonucunda katkı malzemelerinin sahip olduğu yapısal elementlerin kumaşa aktarıldığı elde edilen sonuçlar ile kanıtlanmıştır. Bu durum kumaş numunelerinde farklı kimyasal bağların oluşmasına ve farklı fonksiyonel özellikler göstermesine katkıda bulunmuştur.

Elde edilen test sonuçları oluşturulan işlem adımları ile işlemsiz polyester kumaş numunelerine kopma mukavemeti, %kopma uzaması ve yırtılma mukavemeti değerlerinde iyileşmeler sağlandığını, UV geçirgenlik sonuçları ile özellikle amorf silika kullanılan işlemler sonrası polyester kumaş numunesinin UV koruma özelliğinin iyi değer aralığına ulaştığını, aşınma direncine karşı kumaş davranışlarının geliştirildiğini göstermektedir. Ayrıca polyester elyafının sahip olduğu üstün mukavemet özelliklerinin geliştirilmesinde üretim prosesleri yerine alternatif bir yöntem geliştirilerek iyileştirmelerin elde edilmesi söz konusudur.

Çalışma ile pigment baskıcılıkta kullanılan binder kullanımı nedeniyle oluşan atık oranındaki artış ve yüksek sıcaklıkla yapılan ve maliyeti yüksek fiksaj işlemleri yerine sol jel yöntemi ile alternatif bir yöntemin oluşturulması gerçekleşmiştir. Ayrıca doğal yollar ile elde edilen malzemelerin özelliklerinin kumaş yapılarına aktarımı alternatif bir yöntem oluşturulması adına olumlu bir nokta olarak göze çarpmaktadır.

Gerek kaynakların verimli kullanımı, gerek çevreye dost olması ve düşük fiksaj sıcaklığı nedeniyle düşük enerji maliyeti ile ön plana çıkan yeni yönteminin tekstilde farklı uygulamaları çalışılmış ve gelecekte bu konuda çalışacak araştırmacılar için iyi bir kaynak oluşturulması amaçlanmıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

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

Teşekkür

Bu çalışma; Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 4030-D1-14 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

Kaynaklar

- [1] Mackenzie JD, Bescher EP. Chemical routes in the synthesis of nanomaterials using the sol-gel process. *Accounts of Chemical Research* 2007; 40(9): 810-818.
- [2] Mete G. Sol-jel teknolojisini kullanarak pamuklu kumaşa su, yağ iticilik ve güç tutuşurluk özelliklerinin kazandırılması. Yüksek lisans tezi. Denizli: Pamukkale Üniversitesi; 2013.
- [3] Brinker C, Scherer G. Sol-gel science the physics and chemistry of sol-gel processing. New York: Academic Press; 2013.
- [4] Guglielmi M, KICKELBICK G, Martucci, A. Sol-gel nanocomposites. New York: Springer; 2014.
- [5] Topel E. Sol-jel teknolojisi ile tekstil materyallerinin boyanması ve haslık özelliklerinin geliştirilmesi. Yüksek lisans tezi. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi; 2014.
- [6] Akçalı K. Doğal esaslı malzemeler kullanılarak sol jel kaplama metodu ile pamuklu ve polyester kumaşların fiziksel özelliklerinin araştırılması. Doktora tezi. Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi; 2017.
- [7] Livage J, Beteille F, Roux C. Sol – gel synthesis of oxide materials. *Acta Materialia* 1998; 46(3): 743-750.
- [8] Toygun Ş, Köneçoğlu G, Kalpaklı Y. General principles of sol-gel. *Sigma* 2013; 31: 456-476.
- [9] Şahin S. Medikal alanda kullanılan tekstillerde antibakteriyel etkiler için sol-jel uygulamaları. Yüksek lisans tezi. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi; 2011.
- [10] Gökse E. Sol – jel yöntemiyle antibakteriyel ince film kaplanması. Yüksek lisans tezi. Afyon: Afyon Kocatepe Üniversitesi; 2016.
- [11] Mahlting B, Böttcher H. Modified silica sol coating for water-repellent textiles. *Journal of Sol-Gel Science and Technology* 2003; 27: 43-52.
- [12] Schindler WD, Hauser PJ. Chemical finishing of textiles. Cambridge: Woodhead Publishing Ltd and CRC Press LLC; 2004.
- [13] Cireli A, Onar N, Ebeoğlu MF, Kayatekin I, Kutlu B, Culha O, Çelik E. Development of flame retardancy properties of new halogen-free phosphorous doped SiO₂ thin films on fabrics. *Journal of Applied Polymer Science* 2007; 105: 3747-3756.
- [14] Li F, Xing Y, Ding X. Silica xerogel coating on the surface of natural and synthetic fabrics. *Surface and Coatings Technology* 2008; 202: 4721-4727.
- [15] Onar N. Sol-jel yöntemi kullanılarak tekstil materyallerinin elektriksel, manyetik ve mikrodalga özelliklerinin modifikasyonu ile görünmezlik özelliği kazandırılması. Doktora tezi. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi; 2009.
- [16] Kan H, Zhang L, Xu H, Mao Z, Cao H. Optimization of conditions for nanocrystal ZnO in-situ growing on SiO₂ – coated cotton fabric. *Textile Research Journal* 2010; 80(7): 660-670.
- [17] Brancatelli G, Colleoni C, Massafra MR, Rosace G. Effect of hybrid phosphorus-doped silica thin films produced by sol-gel method on the thermal behavior of cotton fabrics. *Polymer Degradation and Stability* 2011; 96(4): 483-490.
- [18] Parvinzadeh M, Ebrahimi I. Atmospheric air-plasma treatment of polyester fiber to improve the performance of nanoemulsion silicone. *Applied Surface Science* 2011; 257: 4062-4068.
- [19] Ferrero F, Periolatto M. Application of fluorinated compounds to cotton fabrics via sol-gel. *Applied Surface Science* 2013; 275: 201-207.
- [20] Onar N, Mete G, Akşit A, Kutlu B, Çelik E. Water and oil repellency properties of cotton fabric treated with silane, Zr, Ti based nanosols. *International Journal of Textile Science* 2015; 4(4): 84-96.
- [21] Akçalı K, Oktav Bulut M. A new finishing process of cotton fabric. *Industria Textila* 2019; 2: 101-110.
- [22] Gündüz L, Sarıışık A, Tozaçan B, Davraz M, Uğur İ, Çankıran O. Pomza teknolojisi cilt 1. Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi; 1998.
- [23] Karabay D. Değişik oranlarda pomza, talk ve serpantin ilavelerinin fayans masse üzerine etkileri. Yüksek lisans tezi. Kütahya: Dumlupınar Üniversitesi; 2006.
- [24] Aksoy E. Isparta gelincik pomza yataklarının jeolojisi, fiziksel ve mekanik özelliklerinin araştırılması. Yüksek lisans tezi. Konya: Selçuk Üniversitesi; 2010.

- [25] Amato G, Campione G, Cavaleri L, Minafo N, Miraglia N. The use of pumice lightweight concrete for masonry applications. *Materials and Structure* 2012; 45(5): 679-693.
- [26] Tuncer G, Özkan ŞG. Pomza madenciliğine genel bir bakış. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 2001; 7(2): 269-276.
- [27] Durgun, MY. Pomza, kolemanit, barit ve yüksek fırın cürufu katkılı boyalarla kaplanan beton ve donatıların korozyon performansı. Yüksek lisans tezi. Kahramanmaraş: Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi; 2011.
- [28] Davraz M. Isparta keçi borlu yöresi doğal amorf silika oluşumlarının geleneksel ve hafif beton endüstrilerinde kullanılabilirliğinin araştırılması. Doktora tezi. Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi; 2004.
- [29] Dereli B. Bor ve amorf silikanın betonitin mühendislik özelliklerine etkisi. Yüksek lisans tezi. Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi; 2013.
- [30] Coşan FŞ. Amorf silika, volkanik tüf ve kireç kullanılarak iyileştirilmiş yüksek plastisiteli kilin mühendislik özellikleri. Yüksek lisans tezi. Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi; 2016.
- [31] Beall HG. Industrial application of silica. *Silica Physical Behaviour, Geochemistry and Materials Applications* 1994; 29: 469-504.
- [32] Shackelford J, Doremus RH. *Ceramic and glass materials structure, properties and processing*. New York: Springer; 2008.
- [33] Çetin B. Poliinden/kolemanit kompozitin sentezi, karakterizasyonu ve elektrokimyasal özelliklerinin araştırılması. Yüksek lisans tezi. Ankara: Gazi Üniversitesi; 2011.
- [34] Polat H. Kolemanitli betonların bazı durabilite özelliklerinin incelenmesi. Yüksek lisans tezi. Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi; 2012.
- [35] Asgari G, Roshani B, Ghanizadeh G. The investigation of kinetic and isotherm of fluoride adsorption onto functionalized pumice stone. *Journal of Hazardous Materials* 2012; 217: 123-132.
- [36] Zhao X, Shi Y, Wang T, Cai Y, Jiang G. Preparation of silica-magnetite nanoparticle mixed hemimicelle sorbents for extraction of several typical phenolic compounds from environmental water samples. *Journal of Chromatography A* 2008; 1188: 140-147.
- [37] Yaman N, Özdoğan E, Koçum İC, Ayhan H, Öktem T, Seventekin N. Improvement surface properties of polypropylene and polyester fabrics by glow discharge plasma system under atmospheric condition. *Tekstil ve Konfeksiyon* 2009; 1: 45-51.
- [38] Pasqui D, Barbucci R. Synthesis, characterization and self cleaning properties of titania nanoparticles grafted on polyester fabrics. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* 2014; 274: 1-6.
- [39] Tyagi B, Chudasama CD, Jasra RV. Determination of structural modification in acid activated montmorillonite clay by FT-IR spectroscopy. *Spectrochimica Acta Part A* 2006; 64: 273-278.
- [40] Tunç S, Duman O. Effect of electrolytes on the electrokinetic properties of pumice suspensions. *Journal of Dispersion Science and Technology* 2009; 30: 548-555.
- [41] Oktav Bulut M, Çimen Ö, Akbulut Y, Akçalı K, Dereli B. Application of amorphous silica, colemanite and pumice on cotton fabric by screen printing method. *Industria Textila* 2015; 66(5): 289-296.
- [42] Kitadai N, Yokoyama T, Nakashima S. ATR-IR spectroscopic study of l-lysine adsorption on amorphous silica. *Journal of Colloid and Interface Science* 2009; 329: 31-37.
- [43] Kalay Ş, Yılmaz Z, Çulha M. Synthesis of boron nitride nanotubes from unprocessed colemanite. *Bellstein Journal of Nanotechnology* 2013; 4: 843-851.
- [44] Jun L, Shuping X, Shiyang G. F-TIR and raman spectroscopic study of hydrated borates. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* 1995; 51: 519-532.
- [45] Budak A, Gönen M. Extraction of boric acid from colemanite mineral by supercritical carbon dioxide. *The Journal of Supercritical Fluids* 2014; 92: 183-189.
- [46] Kızılca M, Copur M. Thermal dehydration of colemanite: kinetics and mechanism determined using the master plots method. *Canadian Metallurgical Quarterly* 2017; 56(3): 259-271.
- [47] Saravanan D. UV protection textile materials. *AUTEX Research Journal* 2007; 7(1): 53-62.
- [48] Akaydın M, İkiz Y, Kurban NS. Pamuklu örme kumaşlarda UV ışınlarının geçirgenliğinin ölçümü ve değerlendirilmesi. *Tekstil ve Konfeksiyon* 2009; 3: 212-217.

- [49] Merdan N, Acar K. Tekstilde UV absorban madde uygulamaları. İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 2009; 8(16): 1-12.
- [50] Ateşer HO. Amorf silika seramiklerinin andaluzit katkisiyle sinterlenme ve mekanik özelliklerinin incelenmesi. Yüksek lisans tezi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi; 2010.

YAPI MALZEMELERİNİN GEOPOLİMER HARÇ ÜRETİMİNDE KUM OLARAK GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMESİNİN İNCELENMESİ

Süleyman İPEK^{1*}, Şevin EKME²

¹Bingöl Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Bingöl, 12000, Türkiye

²Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa, 63050, Türkiye

Geliş Tarihi/Received Date: 10.03.2022 Kabul Tarihi/Accepted Date: 16.05.2022 DOI: 10.54365/adyumbd.1085538

ÖZET

Bu çalışmanın temel amacı, doğal kuma alternatif olarak geri dönüştürülmüş kum malzemelerinin araştırılmasıdır. Bunun için bu çalışmada, uçucu kül bazlı geopolimer harç üretiminde yapı malzemelerinden geri dönüştürülmüş farklı kumların olası kullanım etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Bu kapsamda, beton, bazalt karo, granit karo, mermer karo ve seramik karo gibi inşaat malzemelerinin geri dönüşümünden elde edilen beş farklı türde geri dönüştürülmüş kum malzemesi doğal kuma alternatif olarak değerlendirilmiştir. Uçucu kül bazlı geopolimer harçların üretiminde, doğal kum, bu geri dönüştürülmüş kumlarla hacimce 10, 20, 30, 40 ve %50'lik oranlarda ikame edildi. Böylece biri kontrol karışımı olmak üzere toplam 26 farklı geopolimer karışımı tasarlanmış ve üretilmiştir. Üretilen geopolimer harçların birim ağırlık, su emme, yarmada çekme ve özellikle termal iletkenlik özellikleri test edildi. Deneysel sonuçları geri dönüşüm kumlarının geopolimer harçların özelliklerini ciddi mertebelerde etkilemediğini göstermiş olup bu geri dönüştürülmüş kumların kontrollü bir şekilde geopolimer harçların üretiminde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Atık yönetimi; Geopolimer harç; Geri dönüşüm kumu; Termal iletkenlik; Yarmada çekme dayanımı*

INVESTIGATION OF RECYCLING OF BUILDING MATERIALS AS SAND IN THE PRODUCTION OF GEOPOLYMER MORTAR

ABSTRACT

The main target of this study is to explore alternative recycled sand materials to the natural sand. For this, the possible utilization of different types of recycled sand in fly ash-based geopolimer mortar production was experimentally investigated in this study. Within this context, five different types of recycled sand materials acquired from the recycling of construction materials such as concrete, basalt tile, granite tile, marble tile, and ceramics tile were considered to be alternatives to the natural sand. In producing fly ash-based geopolimer mortars, the natural sand was substituted with these recycled sands at five replacement levels of 10, 20, 30, 40, and 50% by volume. Thereby, 26 different geopolimer mixtures, one of which was the control mixture, were designed and manufactured. Unit weight, water absorption, splitting tensile strength, and especially thermal conductivity characteristics of the geopolimer mortars were tested. The results of the experiment showed that the recycled sands did not affect the properties of geopolimer mortars seriously, and it was concluded that they could be used in the production of geopolimer mortars in a controlled manner.

Keywords: *Waste management; Geopolymer mortar; Recycled sand; Thermal conductivity; Splitting tensile strength*

* e-posta¹ : sipek@bingol.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8891-949X> (Sorumlu Yazar)

e-posta² : ekmensevin@harran.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2577-696X>

1. Giriş

Birleşmiş Milletler, şehirleşmenin geleceği ile ilgili olarak, 2050 yılına kadar dünyadaki insanların %65'inden fazlasının şehirlerde yaşayacağına dair bir tahminde bulunmaktadır [1]. Aslında bu öngörü durumun önemini ortaya koyuyor çünkü şehirlerdeki nüfus artışı yeni yapılar ve binaların inşasına olan talebi de artıracaktır. Giderek artan bu kentleşme hızı, ihtiyacı duyulan bu yapılar ve binaların inşasında yapı malzemesi olarak dünyada sudan sonra en çok tüketilen malzeme olan geleneksel betonun kullanımını gerektirmesi nedeniyle doğal kaynaklarda ciddi ve giderek artan bir azalmaya neden olacaktır [2]. Bu da betonun, hem ucuz, kolay uygulanan ve kolay elde edilen hem de iyi bilinen ve yaygın olan bir inşaat malzemesi olması nedeniyle daha fazla imalatına ihtiyaç duyulacağı anlamına gelmektedir [3]. Temelde çimento, su ve agreganın birleşmesi anlamına gelen geleneksel beton, genellikle kendi imalatının yanı sıra çimento üretimi için doğal kaynakların tüketilmesinden de sorumludur. Bu nedenle dürüstçe ifade etmek gerekir ki geleneksel beton üretimindeki artış beraberinde birçok doğal kaynak tüketiminin de artmasına neden olmaktadır [4]. Geleneksel betonda ana bağlayıcı malzeme olarak kullanılan Portland çimentosunun üretimi, insan kaynaklı küresel karbon emisyonlarının yaklaşık %5-7'sinden sorumludur [5]. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) tarafından yayınlanan raporda [6], 2015-2020 yılları arasındaki 5 yıllık dönemde çimento üretiminin CO₂ yoğunluğunda yıllık %1.8 artış olduğu bildirilmektedir.

Tabii ki Portland çimentosu üretiminin sorumlu olduğu tek konu bu değil, aynı zamanda yüksek enerji tüketimi ve büyük miktarda hammadde kaynağı tüketiminin de müsebbibidir [7,8]. Yine IEA tarafından yayınlanan raporda, klinker üretimi sırasında tüketilen enerjinin 2020 yılında küresel olarak yaklaşık olarak 3.5 GJ/t olduğu, aynı yıl küresel olarak üretilen tahmini çimento miktarının ise 4.3 Gt olduğu belirtilmektedir [6]. Tüm bunlara ek olarak, 1 ton Portland çimentosu üretmek için gerekli olan hammaddenin yaklaşık 1.5 ton olması da durumun önemini anlamak adına göz önünde bulundurulması gereken bir konudur [9,10]. Dünya genelindeki toplam hazır beton üretimi (2019 yılı için 4.4 milyon Mt [11]) dikkate alındığında, sorunun büyüklüğü tahmin edilebilir. Anlaşılacağı üzere, çimento ve beton endüstrilerinin çalışma prensibi, doğal kaynakların tüketimine dayanmaktadır. Bu bağlamda literatürde, beton üretiminde Portland çimentosu ve doğal agrega kullanımının azaltılmasına yönelik birçok girişime rastlanmaktadır [3]. Beton üretiminde çimento yerine uçucu kül, silis dumanı, cüruf vb. gibi çimento esaslı malzemeler ve doğal agregaların yapay agregalarla değiştirilmesi çevre dostu beton arayışı olarak değerlendirilebilir.

Fransız malzeme bilimcisi Joseph Davidovits [12], çimentonun mineral katkılarla kısmi ikamesi yerine, tamamen yeni bir konsept geliştirdi; bu konseptte, sertleşme aşaması, su ve çimento arasında gerçekleşen hidrasyon reaksiyonları yerine alkali aktivatör ve alüminosilikatça zengin hammaddeler arasında meydana gelen polimerizasyon reaksiyonları tarafından yönetilir. Bu yeni konseptte meydana gelen polimerizasyon reaksiyonlarının bir sonucu olarak Si-O-Al-O bağları oluşmakta ve bu da geopolimerlerin oluşmasına vesile olmaktadır [3,13]. Bu nedenle bu yeni konseptte, Si-O-Al-O bağlarını oluşturmak için alkali aktivatör çözeltileri ve alüminyum ve silikon bakımından zengin hammaddelere ihtiyaç vardır. Bu noktada yüksek fırın cürufu, taban külü, uçucu kül vb. endüstriyel atıklar kullanılarak polimerizasyon işleminin hammadde ihtiyacının karşılanması geopolimer beton olarak da adlandırılan bu yeni malzemenin önemli faydalarından biridir. Başka bir deyişle, bu malzemenin üretimi bağlayıcı malzeme olarak çimento gerektirmediği için, daha az enerji tüketimi, sera gazı salınımı ve doğal kaynak tüketimi durumu söz konusu olur ve bu da bu malzemeyi daha çevre dostu ve enerji tasarruflu bir yapı malzemesi haline getirir [14].

Davidovits tarafından geliştirilen geopolimer beton konsepti, geleneksel çimento esaslı betona göre daha enerji verimli ve daha çevre dostu bir yapı malzemesi olmasına rağmen, bu beton tipinin imalatında yapısındaki agrega fazı hala doğal kaynaklardan sağlanmaktadır. Bu nedenle alternatif kaynaklardan agrega temini hem çok önemli hem de elzem bir konudur. Bu kapsamda, literatürde geopolimer beton üretiminde farklı tip agregaların kullanıldığı çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalardan biri Rovnanik ve Safrankova [15] tarafından gerçekleştirilmiş olup şamot (seramik kırıntısı) tipi agrega

içeren geopolimerlerin termal davranışını incelediler ve bu agreganın geopolimerlerin termal performansını iyileştirdiği ancak mekanik performansını düşürdüğü sonucuna varmışlardır. Mermerdaş ve ark. [16] nehir kumu ve kırılmış kireçtaşı gibi farklı agrega türlerinin geopolimer harcın özellikleri üzerindeki etkisini araştırdı. Geopolimer harçları nehir kumu ile ürettiklerinde daha yüksek akışkanlık gözlemlemişler öte yandan kırma kireçtaşı kullandıklarında ise daha yüksek basınç ve yarmada çekme dayanımı elde etmişlerdir. Mohseni ve ark. [17] ise, skorya kayasından elde ettikleri düşük yoğunluklu agreganın geopolimer harçların özelliklerini incelemiş ve doğal kumun %20 seviyelerinde skorya agregası ile değiştirilmesinin daha düşük dayanıklılık performansı gösterdiğini bildirmişlerdir. Ekmen ve ark. [18] ise, %35 oranında doğal kumun pomza agregası ile ikame edildiği geopolimer harçların taze ve sertleşmiş hal özelliklerini incelemişler ve matris fazı ile pomza agregası arasında karmaşık bir etkileşim olduğunu belirtmişlerdir. Li ve ark. [19] standart ve farklı gradasyonlara sahip nehir kumu içeren geopolimer harcın mekanik özelliklerini test ettikleri bir çalışma yapmışlar ve agrega gradasyonunun geopolimer harçların mekanik özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu sonucuna ulaşmışlar.

Ancak bahsedildiği üzere tüm bu çalışmalarda geopolimer harçların üretiminde kullanılan agregalar doğal kaynaklardan elde edilmiştir. Oysa, Wongsu ve ark. [20] atık kırıntı kauçuğu ve Poggetto ve ark. [21] ise atık camı ince agrega olarak kullanarak geopolimer harç üretim özelliklerini araştırmışlar. Wongsu ve ark. [20], kırıntı kauçuğun ince agrega olarak kullanımının geopolimer harçların basınç dayanımını azalttığını, ancak daha düşük yoğunluk ve daha iyi termal özelliklere vesile olduğunu bildirmişler. Öte yandan, Priyadharshini ve ark. [22], hafriyat toprağı atığını ince agrega olarak geopolimer harç üretiminde kullanmışlarken, Zhu ve ark. [23], geopolimer harcın üretiminde ince agrega olarak kullanabilmek için geopolimer harcı geri dönüştürmüşler. Zhu ve ark. [23], geri dönüştürülmüş geopolimer agregası kullandıklarında tanecik ve hamur arayüzünün daha kompakt olduğunu gözlemlemişler. Ayrıca Mermerdaş ve ark. [24] tarafından yapılan bir başka çalışmada, soğuk bağlama işlemi ile üretilen sentetik agrega, geopolimer harç imalatında kullanılmış ve sentetik agrega kullanımının yumuşak ve gözenekli yapısı nedeniyle daha düşük mekanik performans sağladığı sonucuna varmış olup, sentetik agreganın daha düşük özgül ağırlığı nedeniyle geopolimer harçların da daha düşük birim ağırlıkla sahip olduğunu bildirmişler. Literatürdeki çalışmalardan da anlaşılacağı gibi, başta geri dönüştürülmüş olanlar olmak üzere farklı agrega türlerini içeren geopolimer harçların olası üretimini tam olarak anlamak için hala birçok mihenk taşına ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca geopolimer betondan elde edilen fayda ve verimi artırmak için üretiminde kullanılan agreganın da geopolimer macunu kadar sürdürülebilir olması gerektiği vurgulanmalıdır.

Söz konusu literatür ışığında, hızla kentleşen dünya karşısında çevre dostu ve sürdürülebilir yapı malzemeleri geliştirmenin giderek önem kazandığı söylenebilir. Bu nedenle, bu çalışmada daha çevreci ve sürdürülebilir yapı malzemesi elde etmek için atık yapı malzemelerinden elde edilen ince agregaların geopolimer harçta kullanılmasının olası etkilerinin araştırılması hedeflenmiştir. Bu nedenle 5 farklı yapı malzemesi ince agrega olarak geri dönüştürülmek üzere belirlenmiştir. İnce agrega olarak geri dönüştürülen atık malzemeler, çimento esaslı beton, bazalt karo, granit karo, mermer karo ve seramik karodur. Geopolimer harcın, geri dönüştürülmüş kumların eklenmesi ve ikame seviyesinin arttırılmasından kaynaklanan özelliklerindeki değişimi görebilmek için toz hammadde (uçucu kül) dozajı, alkali aktivatör içeriği ve süper akışkanlaştırıcı içeriği tüm geopolimer harç karışımlarında sabit tutulmuştur. Kontrol karışımının imalatında nehir kumu kullanılmış ve belirli ikame seviyelerinde kademeli olarak geri dönüştürülmüş kumlarla değiştirilmiştir. Bu çalışmada, karışımların birim ağırlık, su emme, yarmada çekme ve termal iletkenlik gibi özelliklerine geri dönüştürülmüş kum türü ve ikame seviyesinin etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Söz konusu geri dönüşüm kumlarının bahsi geçen özellikler üzerinde olumlu veya olumsuz etkilerinin araştırılması çalışmanın asıl hedefidir. Böylece, nehir kumuna alternatif kum malzemeleri keşfetmek için kapsamlı ve karşılaştırmalı bir çalışma yapılması amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metod

2.1. Materyal

Bu çalışmada, geopolimer karışımların üretiminde uçucu kül, sodyum silikat (Na_2SiO_3) ve sodyum hidroksit (NaOH) çözeltileri, nehir ve geri dönüştürülmüş kumlar ve süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır.

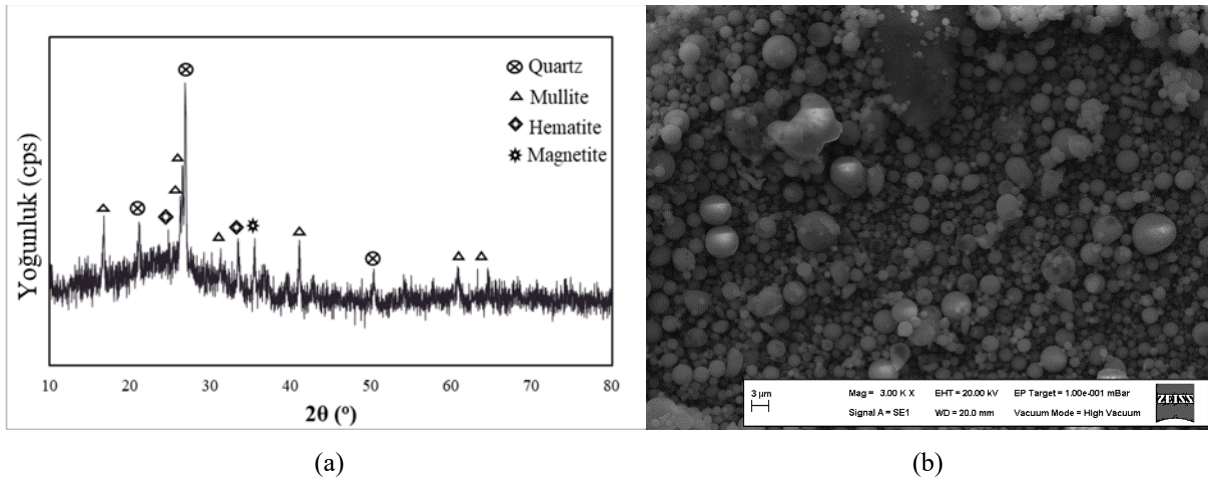
Uçucu kül, Türkiye'nin Zonguldak ilindeki Çatalağzı termik santralinden temin edilmiş olup ASTM C311'e uygundur [25]. X-ışını floresan (XRF) analizi ile belirlenen uçucu külün kimyasal bileşenleri ve kızdırma kaybı Çizelge 1'de sunulmuştur.

Çizelge 1. Uçucu külün kimyasal bileşenleri

Kimyasal bileşenler, %								
CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	KK*
1.69	55.46	26.33	6.71	2.42	0.05	1.08	4.22	1.2

*KK: Kızdırma kaybı

Geopolimer karışımların imalatında alkali ortamda bağlayıcı malzeme olarak uçucu kül kullanılmıştır ve tabloda verilen bileşen miktarları dikkate alındığında (SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 oksitlerin toplamı %70'den fazla olduğu için) ASTM C618 [35]'e göre kullanılan uçucu külün F sınıfı olduğu söylenebilir. Kullanılan uçucu külün özgül ağırlığı 2.0 ve özgül yüzey alanı yaklaşık $2.018 \text{ m}^2/\text{g}$ idi. Ayrıca, Şekil 1a ve 1b, sırasıyla, uçucu külün X-ışını kırınım (XRD) analizi sonucunu ve taneciklerinin taramalı elektron mikroskopundan (SEM) elde edilen görüntüsünü göstermektedir. Şekil 1b'de uçucu külün partikül boyutları görülürken, Şekil 1a'da uçucu külü oluşturan bileşenler gösterilmektedir; burada, uçucu kül yüksek miktarda SiO_2 içerdiğinden, pikin kuvars kristalinde meydana geldiği açıkça fark edilebilir.



Şekil 1. (a) uçucu külün X-ışını kırınım (XRD) analizi sonucu ve (b) taneciklerinin taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüsü

Geopolimer harcın ikinci temel bileşeni olan alkali aktivatör, bu çalışmada 1:2 oranında NaOH ve Na_2SiO_3 karışımı olarak belirlenmiştir. 12 M konsantrasyonundaki NaOH çözeltisini hazırlamak için %98'den fazla saflığa sahip beyaz renkte küresel NaOH peletleri kullanılmıştır. Özgül ağırlığı yaklaşık 1.254 olan NaOH 'in kimyasal bileşenleri Çizelge 2'de sunulmuştur. Alkali aktivatörün hazırlanmasında kullanılan diğer kimyasal malzeme olan Na_2SiO_3 çözeltisinin silika-sodyum oksit oranı ($\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$) yaklaşık 2.5, yoğunluğu ise 1.367 g/ml idi. Bu kimyasal çözelti, yaklaşık %61.5 sıvı ve %38.5 katı

malzemeden oluşan açık sarı renkte sıvı halde temin edilmiştir. Na_2SiO_3 çözeltisinin fiziksel özelliklerinin ve kimyasal bileşenlerinin detayları Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 2. Sodyum hidroksitin (NaOH) kimyasal bileşenleri

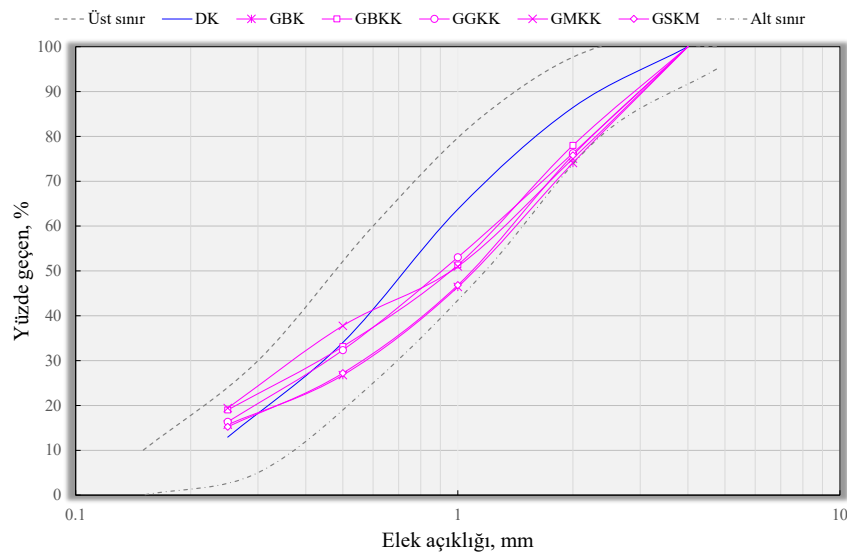
Kimyasal bileşenler, %			
NaOH (Sodyum hidroksit)	Na_2CO_3 (Sodyum karbonat)	NaCl (Sodyum klorür)	Fe (Demir)
≥ 98.0	≤ 0.5	≤ 0.02	≤ 0.001

Çizelge 3. Sodyum silikatın (Na_2SiO_3) kimyasal bileşenleri ve fiziksel özellikleri

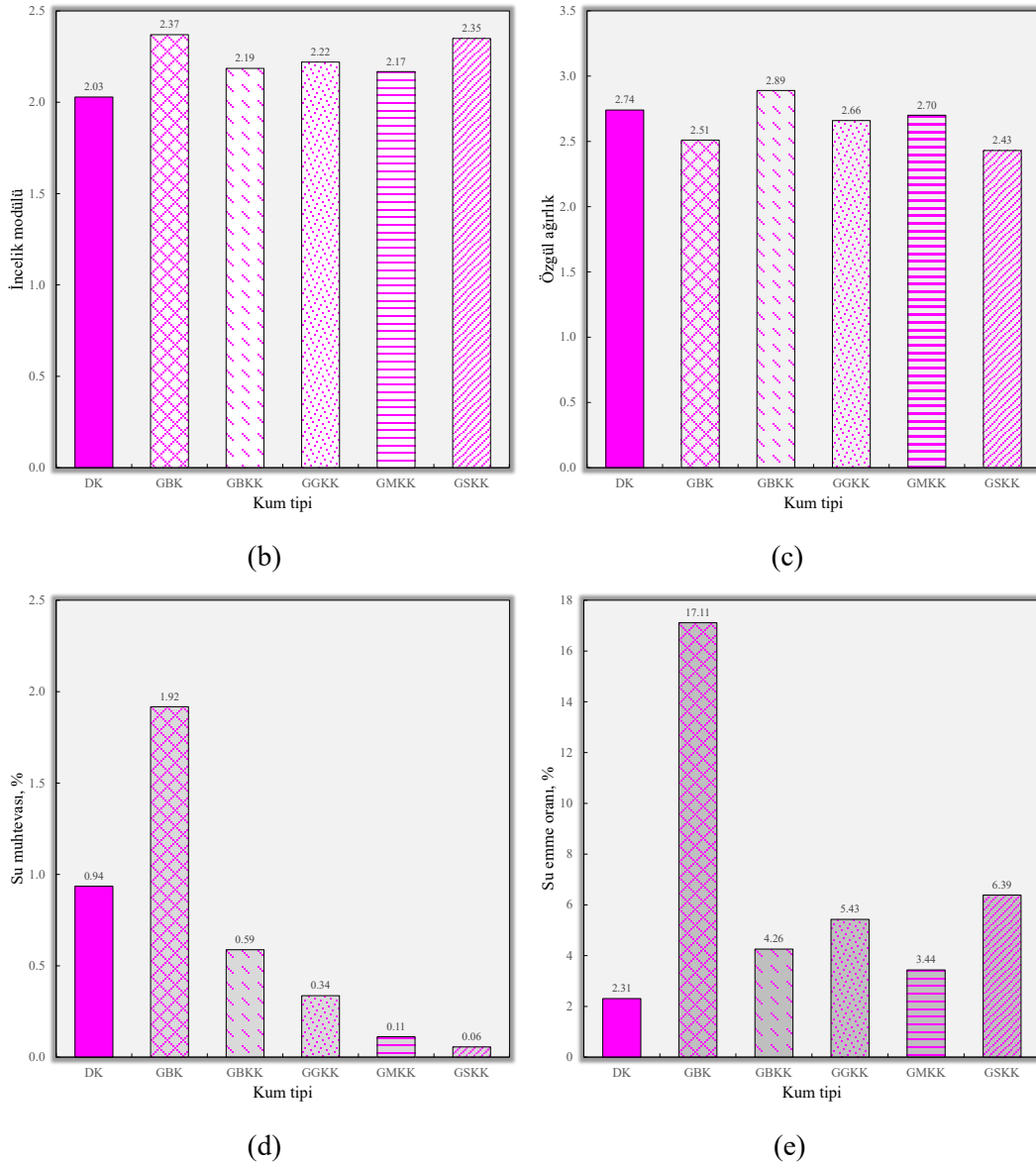
Kimyasal bileşenler, %		Yoğunluk, g/ml	Modül	Bome, °B
Na_2O (Sodyum oksit)	SiO_2 (Silikat)	1.367	2.93	38.68
9.03	27.08			

Bu çalışmadaki ana tema nehir kumunun kısmen geri dönüştürülmüş kumlarla değiştirilmesinin etkilerinin araştırılması olduğu için kumların fiziksel özelliklerinin ve tane boyutu dağılımının belirlenmesi ve tanecik şekillerinin tanımlanması önem taşımaktadır. Bu bağlamda, geopolimer harcın imalatında kullanılan nehir kumunun özellikleri hassas bir şekilde belirlenmiş ve geri dönüşüm kumları ile karşılaştırılmıştır. Mevcut çalışmada kullanılan doğal ince agrega nehir kumuydu ve bu makale boyunca bu agregayı belirtmek için NK kısaltması kullanıldı. Nehir kumu ile ikame edilen ilk kum, C25 sınıfı betonun çeneli kırıcıda kırılması ile elde edilirken, diğer kumlar ise yıkılan bir binadan çıkarılan bazalt, granit, mermer ve seramik karoların, yine bu binadan alınan C25 sınıfı betonun geri dönüşümünde izlenen yöntemle kırılmasıyla elde edilmiştir. Nehir kumu için izlenen kısaltma yönteminde olduğu gibi, bu kumların adları da ilk harflerinin yan yana getirilmesiyle kısaltılmış olup; GBK, GBKK, GGKK, GMKK ve GSKM sırasıyla beton kumu, bazalt karo kumu, granit karo kumu, mermer karo kumu ve seramik karo kumu anlamına gelmektedir. Burada, kısaltmaların ilk harfi olan G 'geri dönüşüm' kelimesinin kısaltmasıdır.

Mevcut çalışmada kullanılan tüm kumlar 4 mm'den küçük tane boyutlarına sahip olup ASTM C136'ya [27] göre belirlenen elek analiz sonuçları, ayrıca ASTM C33 [28] tarafından ince agrega için verilen üst ve alt sınırlar ile birlikte Şekil 2a'da sunulmuştur. Bu şekilden de görülebileceği üzere, tüm kum türlerinin gradasyon eğrileri belirtilen standart sınırları içinde yer almakta olup DK ile hemen hemen aynı elek analizi sonuçlarına sahiptir.



(a)

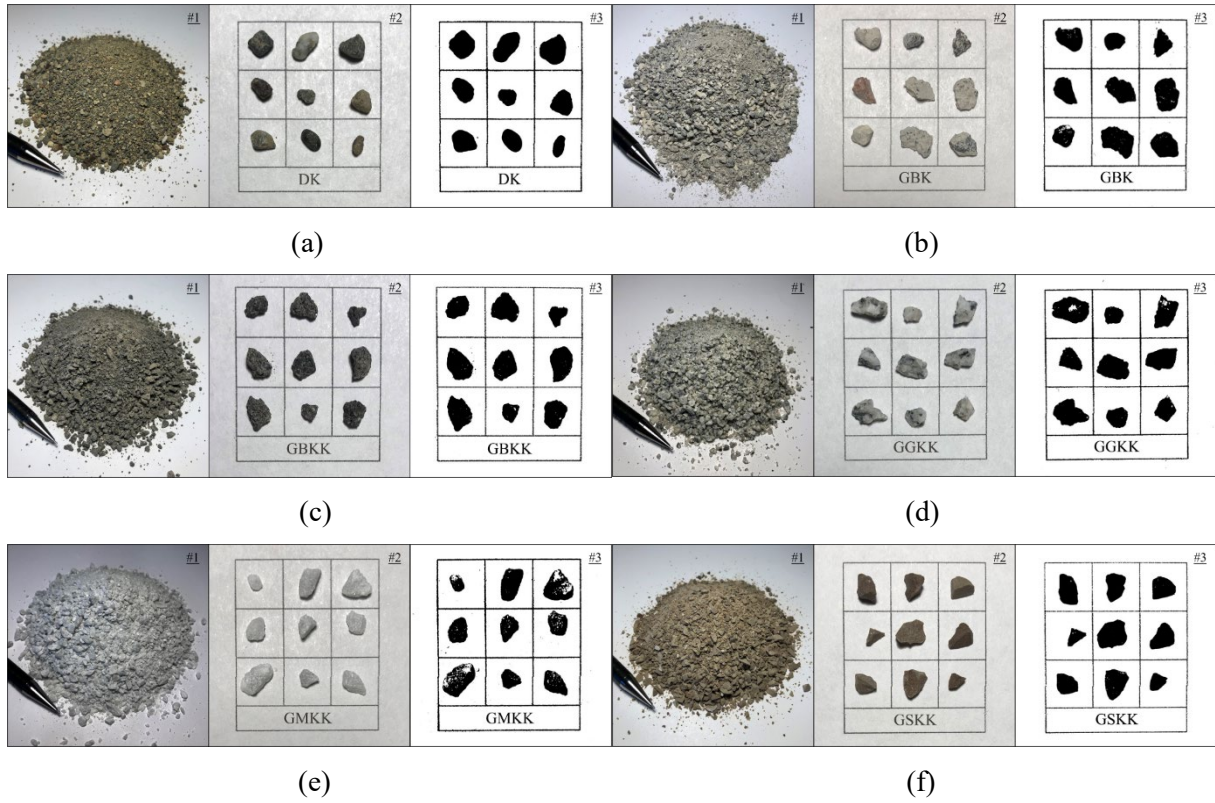


Şekil 2. Kumların (a) elek analizi sonuçları, (b) incelik modülü, (c) özgül ağırlık, (d) su muhtevası ve (e) su emme oranları

Ayrıca Şekil 2b, kumların incelik modülü değerlerini göstermektedir. DK, 2.03 ile en düşük incelik modülüne sahipken, diğer kumlar nispeten daha yüksek incelik modülü değerlerine sahiptir. Daha yüksek incelik modülü, kumun daha iri taneli tanelerden oluştuğunun göstergesidir. Bu bağlamda geri dönüşüm kumlarının DK'ye göre biraz daha iri olduğu söylenebilir. Bu durum Şekil 2a'da sunulan gradasyon eğrilerinden de görülmektedir. 1-mm'lik elekten geri dönüşüm kumlarının geçen yüzdesi DK'den daha azdır. ASTM C127'ye [29] göre belirlenen özgül ağırlık, su muhtevası ve su emme oranları gibi tüm kumların diğer fiziksel özellikleri sırasıyla Şekil 2c, 2d ve 2e'de sunulmuştur. Şekil 2c'de DK'nin özgül ağırlığının 2.74 olduğu ve özgül ağırlık değeri 2.89 olan GBKK'nin en ağır kum, özgül ağırlık değeri 2.43 olan GSKK'nin ise en hafif kum olduğu görülmektedir. Diğer geri dönüşüm kumları yani GBK, GGKK ve GMKK ise sırasıyla 2.51, 2.66 ve 2.70 özgül ağırlıklara sahiptir. Şekil 2d, hava kurusu durumdaki kumların su muhtevasını göstermektedir. Bu değerlere göre bu çalışmada kullanılan kumların %0.06 (GSKK) ile %1.92 (GBK) arasında değişen su muhtevası değerlerine sahip olduğu, DK'nin ise su muhtevasının %0.94 olduğu görülmektedir. Bunun yanı sıra mevcut çalışmada kullanılan kumlardan en yüksek su emme kapasitesi %17.11 değeri ile GBK tipinde, en düşük kapasite

ise DK tipinde tespit edildi. DK ile kıyaslandığında, diğer kum çeşitlerinin de daha yüksek su emme kapasitesine sahip olduğu ancak GBK'nin sahip olduğundan hayli düşük mertebelerde olduğu Şekil 2e'de sunulan su emme oranlarından da kolayca görülmektedir.

Kumların fiziksel özelliklerinin yanı sıra makro ölçekteki genel ve taneçik görünümleri verilerek şekil özellikleri bazında karşılaştırılıp değerlendirilmesi sağlanmıştır. DK'ye ait görüntüler Şekil 3a'da verilirken, GBK, GBKK, GGKK, GMKK ve GSKK'ye ait olanlar sırasıyla Şekil 3b, 3c, 3d, 3e ve 3f'de gösterilmektedir. Kumların görünüşlerini kapsamlı bir şekilde tanımlamak için, her bir şekilde genel görünümün (#1), 10 mm'lik ızgaralar içindeki taneçiklerin (#2) ve 10 mm'lik ızgaraların içindeki taneçiklerin ana hatlarının (#3) fotoğraf görünümleri sunulmaktadır. Kumların aynı görünüme sahip oldukları sunulan genel görünümünden (#1) rahatlıkla görülebilmektedir; ancak, 10 mm'lik ızgaralar (#2 ve #3) içindeki taneçiklerin fotoğraf görünümleri ve ana hatları, kumların taneçik şekli arasında bazı farklılıklar olduğunu ortaya koymaktadır. DK esas olarak yuvarlak, kısmen yuvarlak ve düzensiz taneçiklerden oluşmaktadır (bakınız Şekil 3a'daki #2 ve #3 resimler), oysa genel olarak GBK, GBKK ve GGKK çoğunlukla köşeli ve bazen pulsu taneçiklerden oluşmaktadır (bakınız Şekil 3b, 3c ve 3d'deki #2 ve #3 resimler). Öte yandan, GMKK'nin taneçikleri çoğunlukla düzensiz ve kısmen yuvarlak şekillerdeyken (bakınız Şekil 3e'deki #2 ve #3 resimler), GSKK'nin taneçikleri genellikle açısız biçimlidir (bakınız Şekil 3f'deki #2 ve #3 resimler).



Şekil 3. Kumların genel, 10 mm'lik ızgaralar içindeki taneçik ve taneçik ana hattının görünümleri: (a) DK, (b) GBK, (c) GBKK, (d), GGKK, (e) GMKK ve (f) GSKK

Karışımlar için yeterli işlenebilirlik elde etmek için geopolimer harçların imalatında, ticari olarak temin edilebilen ve özgül ağırlığı 1.07 olan polikarboksilik eter bazlı süper akışkanlaştırıcı kullanıldı.

2.2. Geopolimer harç karışım oranları ve üretimi

Uçucu kül bazlı geopolimer harçlara geri dönüşüm kumunun dahil edilmesinin ve ikame seviyesinin artırılmasının geopolimer harçların özellikleri üzerindeki etkisini incelemek için,

karışımlar, 0.5'lik sabit bir alkali aktivatör-uçucu kül oranı ve yukarıda belirtildiği gibi 2.0'lik sabit bir Na_2SiO_3 -NaOH oranında tasarlanıp üretilmiştir. Ayrıca, tüm geopolimer karışımlarında uçucu kül dozajı ve alkali aktivatör içeriği sırasıyla 600 kg/m^3 ve 300 kg/m^3 olarak sabit tutulmuştur. Çalışma kapsamında seçilen alkali aktivatör-uçucu kül oranı, Na_2SiO_3 -NaOH oranı, alkali aktivatör molaritesi, uçucu kül dozajı ve alkali aktivatör içeriği, Ekmen ve ark. [18] tarafından gerçekleştirilen temel olarak yukarıda bahsedilen parametrelerin geopolimer harçların taze ve sertleşmiş özellikleri üzerine etkisinin incelendiği ve bu bağlamda yapılmış en kapsamlı çalışmalardan biri olan doktora tezi dikkate alınarak seçilmiştir. Ekmen ve ark. [18] 2 farklı aktivatör-uçucu kül oranı, 3 farklı Na_2SiO_3 -NaOH oranı ve 3 alkali aktivatör molaritesinde uçucu kül bazlı geopolimer harçlar üreterek taze ve sertleşmiş özelliklerini incelemiştir. Bu çalışmadan elde edilen kıvam ve mukavemet bulguları göz önünde bulundurularak mevcut çalışmadaki karışım oranları belirlenmiştir. Ayrıca kontrol karışımında istenen işlenebilirliği elde etmek için birçok deneme karışımından sonra süper akışkanlaştırıcı içeriği, uçucu külün kütlece %3.5'i olarak belirlenmiştir. Kontrol geopolimer karışımı sadece DK kullanılarak üretilirken, geri dönüşüm kumu içeren karışım serisinde DK, hacimce %10, %20, %30, %40 ve %50'lik değiştirme oranlarında geri dönüşüm kumları ile ikame edildi. Böylece her bir geri dönüşüm kumu türünden 5 adet geopolimer harç karışımı tasarlanarak üretilmiştir ve toplamda, kontrol karışımı dışında 30 farklı karışım elde edilmiştir. Geopolimer harçların detaylı karışım oranları Çizelge 4'te sunulmuştur.

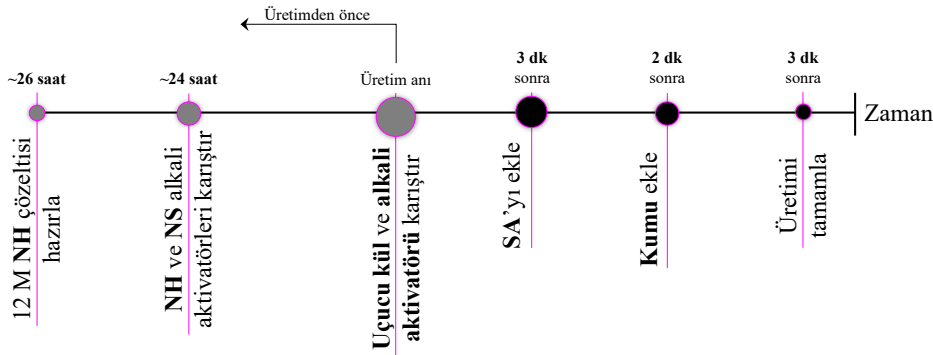
Çizelge 4. Geopolimer harçların karışım oranları (kg/m^3)

Karışım	UK	NH	NS	DK	KİS (%)	Geri dönüşüm kumu	SA	f_c (MPa)
Kontrol	600	100	200	1231.1	0	-	21	35.5
GBK grubu	600	100	200	1108.0	10	112.8	21	34.6
				984.9	20	225.6		35.1
				861.8	30	338.3		35.8
				738.7	40	451.1		34.9
				615.6	50	563.9		35.5
GBKK grubu	600	100	200	1108.0	10	129.9	21	36.3
				984.9	20	259.7		36.7
				861.8	30	389.6		37.1
				738.7	40	519.4		38.8
				615.6	50	649.3		39.9
GGKK grubu	600	100	200	1108.0	10	119.5	21	35.7
				984.9	20	239.0		36.0
				861.8	30	358.6		36.5
				738.7	40	478.1		36.8
				615.6	50	597.6		37.2
GMKK grubu	600	100	200	1108.0	10	121.3	21	35.7
				984.9	20	242.6		36.1
				861.8	30	364.0		37.8
				738.7	40	485.3		38.6
				615.6	50	606.6		40.3
GSKK grubu	600	100	200	1108.0	10	109.0	21	33.4
				984.9	20	218.0		32.8
				861.8	30	328.0		31.8
				738.7	40	437.0		31.3
				615.6	50	546.0		30.8

NH: sodyum hidroksit; NS: sodyum silikat; KİS: kum ikame seviyesi; SA: süper akışkanlaştırıcı, f_c : 3 günlük basınç dayanımı [30]

Tüm geopolimer harç karışımlarında aynı homojenliği elde edebilmek için her bir karışım aynı karıştırma işlemi izlenerek üretilmiştir. Bahsedilen bu işleme göre, üretimden yaklaşık 26 saat önce 12 M'lık NaOH çözeltisi hazırlandı. NaOH çözeltisinin hazırlanmasında, katı NaOH peletleri önce saf suda eritildi; ancak NaOH'in suda çözünmesi yüksek oranda ekzotermik bir reaksiyonun oluşmasına ve yüksek miktarda ısının açığa çıkmasına neden olduğundan, çözelti ortam sıcaklığına gelinceye kadar

cam şişede laboratuvar koşullarında tutulmuştur. Mevcut çalışmada, bu soğutma periyodu yaklaşık 2 saat sürmüştür, bu nedenle NaOH çözeltisi, Na₂SiO₃ çözeltisi ile karıştırılmadan yaklaşık 2 saat önce hazırlanmıştır. Daha sonra, geopolimer harcı imalatında kullanılmadan yaklaşık 24 saat önce belirlenen miktarda NaOH ve Na₂SiO₃ çözeltileri karıştırılarak alkali aktivatör çözeltisi hazırlanmıştır [3,31], daha sonra alkali aktivatör solüsyonu karıştırma anına kadar cam bir kaptaki tutulmuştur. Geopolimer harcın üretim işlemine uçucu kül ve alkali aktivatör çözeltisinin mikser tavaında 3 dakika karıştırılmasıyla başlandı. Böylece geopolimer macunu elde edilmiş olup, bu 3 dakikalık karıştırma süresinden sonra mikser tavaına süper akışkanlaştırıcı ilave edilerek 2 dk daha karıştırmaya devam edilmiştir. Uçucu kül, alkali solüsyon ve süper akışkanlaştırıcının 5 dakikalık karıştırma periyodu tamamlandıktan sonra mikser tavaına yavaş yavaş kum ilave edildi ve kum eklendikten sonra karışım 3 dakika daha karıştırıldı. Böylece geopolimer macuna kum ilave edildikten 3 dakika sonra karıştırma işlemi tamamlanmış oldu. Ayrıca, NaOH çözeltisinin hazırlandığı ilk andan, imalatın tamamlandığı son ana kadar olan üretim sürecini göstermek için Şekil 4'te bir akış zaman çizelgesi sunulmaktadır. Bu akış zaman çizelgesi, bu çalışmada uygulanan üretim sürecini kolayca anlamak ve uygulamak için takip edilebilir.



Şekil 4. Geopolimer harçlar için akış şeması

Üretim tamamlandıktan sonra, taze geopolimer harcı çelik kalıplara iki tabaka halinde dökülmüş ve vibrasyon tablası kullanılarak her tabakaya 30 saniyelik vibrasyon uygulanarak sıkıştırılmış geopolimer karışımları elde edilmiştir. Çalışma kapsamındaki deneyleri yapmak için numunelere ilk 24 saat 60 °C ısı kuru uygulanmış olup sonrasında ortam sıcaklığında kürlenme (23±2°C) yapılmıştır. Burada belirtmelidir ki geopolimer harçların uygulanabilirliği ile ilgili çözülmesi gereken en önemli unsurlardan biri geopolimerizasyonun ihtiyaç duyduğu yüksek sıcaklık kürlenmesi ve bunun uygulanma süresidir. Son zamanlarda yapılan çalışmaların da temel amacı daha düşük kürlenme sıcaklığı ve uygulama süresiyle hatta ısı kuru uygulanmadan geopolimer harç veya beton üretilmesidir. Bu hususta literatürdeki çalışmalar da göz önünde bulundurularak enerji verimliliği açısından kürlenme sıcaklığı olarak 60 °C ve süre olarak da 24 saat tercih edilmiştir. Ayrıca, ısı kuru işlemi esnasında numunelerin nem kaybını önlemek için numuneler plastik poşetlere sarılmıştır.

2.3. Metod

Geopolimer harçların birim ağırlık ve su emme kapasitesi değerleri sırasıyla ASTM C138 [32] ve ASTM C642 [33] takip edilerek ölçülmüştür. Burada geopolimer harçların su emme oranını hesaplamak için aşağıdaki ifade kullanılmıştır:

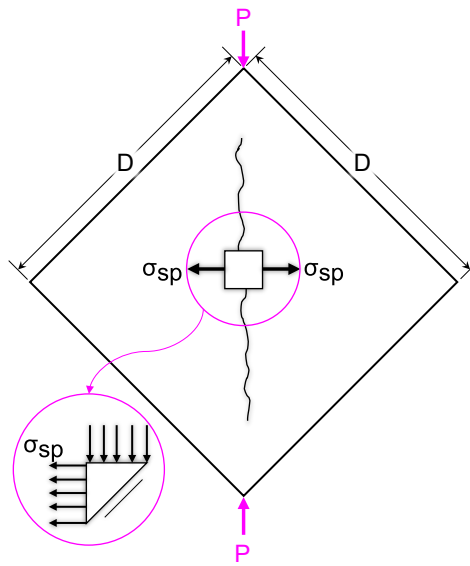
$$SE (\%) = \frac{W_{sd} - W_{ek}}{W_{ek}} \times 100 \quad (1)$$

burada SE , W_{sd} ve W_{ek} sırasıyla numunenin su emme oranı, kuru yüzey doymun durumdaki ağırlık ve etüv kuru ağırlıktır.

Elastik çalışma prensibine göre, silindirik bir numuneye uygulanan çizgisel yükleme, yüklenen çapın neredeyse üçte ikisi boyunca çok homojen olan bir çekme gerilimine neden olur. Numune sonunda, çekme gerilimi nedeniyle yüklü çap boyunca bölünerek kırılır ve çekme mukavemeti, kırılma durumundaki yük bilinerek belirlenebilir. Bu teoriye dayanarak, Gambhir [34] bu testin ya kare çubuklar kullanarak paralel yüzeylerine ya da zıt kenarlarına yük uygulanmasıyla kübik numuneler üzerinde de yapılabileceğini belirtmektedir. Bu bağlamda, geopolimer harçların yarmada çekme dayanımları, Şekil 5'te gösterildiği gibi kübik numunenin basınç hattı yükleri altında diyagonal olarak test edilmesiyle belirlenmiştir. Burada, geopolimer harçların yarmada çekme dayanımları aşağıdaki ifade kullanılarak belirlendi:

$$f_{st} = 0.5187 \frac{P}{D^2} \quad (2)$$

burada f_{st} , P ve D sırasıyla yarmada çekme dayanımı, kırılma yükü ve küpün kenar uzunluğudur.



Şekil 5. Yarmada çekme dayanımının belirlenmesinde kullanılan yükleme düzenlemesi

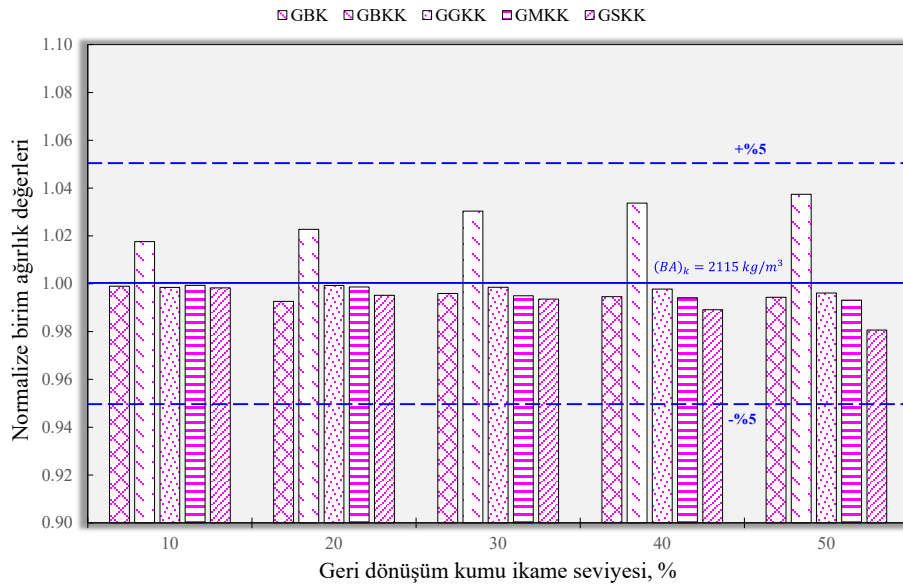
Geopolimer harçların termal iletkenlik katsayılarını belirlemek için sıcak disk yöntemini kullanarak ısı iletim katsayısını ölçen bir TPS 500 S Hot Disk Termal Sabitler Analizatörü cihazı kullanılmıştır. Cihazın ölçüm aralığı yaklaşık 0.03-100 W/m.K iken doğruluk ve tekrarlanabilirlik değerleri sırasıyla %5 ve %2'dir. Ayrıca, seçilen ölçüm süresine ve 50 Hz güç hattı frekansına bağlı olarak, her numune için güç hattı döngü sayısı 4'tür.

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen tüm deneyler her bir karışımdan üç numune kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sunulan sonuçlar ise bu üç numunenin ortalama değerleridir.

3. Bulgular ve tartışma

Çalışma kapsamında atık inşaat malzemelerinin geri dönüştürülmesinden elde edilen 5 farklı kum tipinin geopolimer harç üretiminde ince agrega yerine kullanımının harçların birim ağırlığı üzerindeki etkisi Şekil 6'da gösterilmektedir. Şekilde de belirtildiği üzere kontrol karışımı, yani tamamen dere kumu (DK) ile üretilen geopolimer harç karışımı 2115 kg/m³'lük birim ağırlığa sahipti. Geri dönüşüm kumu içeren karışımların birim ağırlıkları ise, kontrol karışımının birim ağırlığı baz alınarak normalize edilerek grafikte ±%5 sınır çizgileri ile birlikte sunulmuştur. Bazalt karonun geri dönüştürülmesinden elde edilen kum (GBKK) dışındaki bütün geri dönüşüm kumları geopolimer harcın birim ağırlığında bir

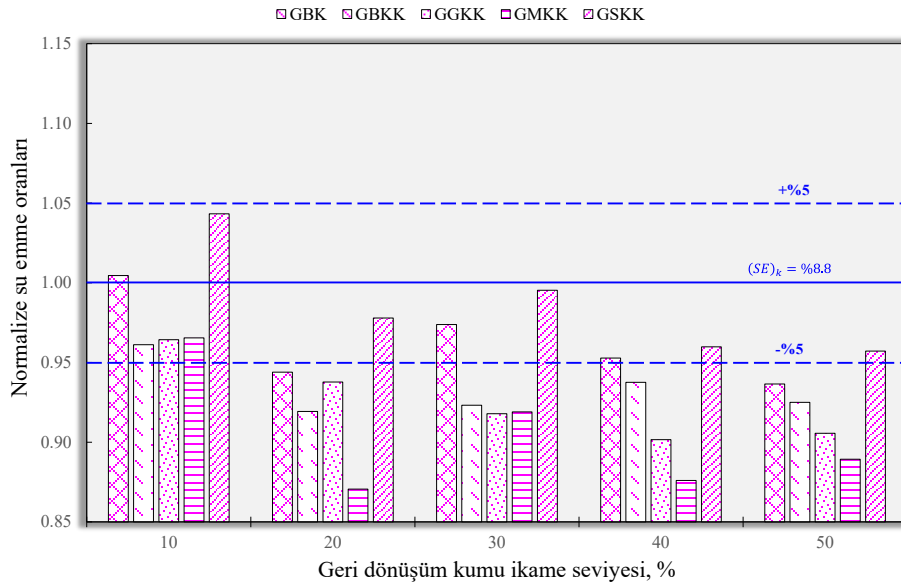
düşüşe neden olmuştur. DK'nin GBKK ile ikame edilmesi ve ikame seviyesinin artırılması ise harçların birim ağırlığında sistematik bir artışa neden olmuştur. Ancak şekilde gösterilen $\pm\%5$ sınır çizgileri göz önünde bulundurulduğunda anlaşılacağı üzere çalışma kapsamında üretilen bütün geopolimer harçların birim ağırlıkları kontrol karışımının birim ağırlığının $\%5$ 'inden fazla farklılık göstermemiştir. Özellikle granit ve mermer karonun geri dönüştürülmesinden elde edilen kumların (sırasıyla GGKK ve GMKK) ikame edilmesinde, birim ağırlıktaki bu değişim $\%50$ ikame seviyesinde bile $\%1$ 'den fazla değildir. Betondan ve seramik karodan geri dönüştürülen kumlar (sırasıyla GBK ve GSKK) ikame edildiğinde ise harçların birim ağırlığında sadece $\%2$ seviyelerinde bir düşüş gözlemlenmiştir. Şekil 2'de verilen kumların özgül ağırlıkları göz önünde bulundurulduğunda bu düşüşün müsebbibinin ne olduğu kolayca anlaşılacaktır. GBKK'nin geopolimer harç üretiminde kullanımı harçların birim ağırlığında bir artışa sebep olmuş olup bu artış $\%50$ ikame seviyesinde $\%4$ seviyelerinde kalmıştır. Yine bu durumun birincil sebebi kullanılan GBKK'nin özgül ağırlığının DK'ninkinden yüksek olmasıdır. Genel olarak ifade edilecek olursa çalışma kapsamında üretilen geopolimer harçların birim ağırlıkları 2050 kg/m^3 ile 2200 kg/m^3 arasındaydı. Geopolimer harçlar için önerilen bir standardın bulunmuyor olması bu kapsamda üretilen harçların kabul edilebilir bir harç olup olamayacağı noktasında değerlendirilmesini zorlaştırmaktadır. Ancak çimento esaslı harçlar için önerilen TS EN 206-1 [35] standard, çalışma kapsamında üretilen geopolimer harçların birim ağırlıklarını değerlendirme noktasında kullanmamız yanlış olmayacaktır. Söz konusu standart göz önünde bulundurulduğunda çalışma kapsamında üretilen tüm geopolimer harç karışımlarının normal ağırlıklı harç (2000 kg/m^3 üzeri) olarak değerlendirilebileceği söylenebilir.



Şekil 6. Geri dönüşüm kumu ile üretilen geopolimer harçların birim ağırlıklarındaki değişim

Ger i dönüşüm kumu ikame edilen geopolimer harçların bu çalışma kapsamında incelenen bir diğer özelliği su emme oranlarıydı. Kontrol geopolimer harcının ölçülen ortalama su emme oranı $\%8.8$ olup geri dönüşüm kumlarının ikame edildiği geopolimer harçların su emme oranlarındaki kum tipine ve ikame seviyesine göre değişim Şekil 7'de sunulmuştur. Şekilde sunulan değerler kontrol karışımın su emme oranına göre normalize edilmiş değerler olup grafikte $\pm\%5$ 'lik sınır değerleriyle beraber verilmiştir. Sonuçlar geri dönüşüm kumlarının geopolimer harcın üretiminde kullanımının harcın su emme kapasitesini önemli ölçüde düşürdüğünü ortaya çıkarmıştır. Bazalt, granit ve mermer karoların geri dönüşümünden elde edilen kumların özellikle $\%10$ 'dan fazla ikame edilmesiyle üretilen geopolimer harçların su emme oranlarında $\%5$ 'ten fazla düşüş gözlemlenmiştir. Beton ve seramik karonun geri dönüştürülmesinden elde edilen kumların ikame edilmesiyle de geopolimer harçların su emme oranında bir miktar azalma gözlemlenmiş olsa da bu azalma diğer kumlarda olduğu kadar belirgin ve yüksek değildir. Bu sonuçlara dayanarak geri dönüşüm kumları ile üretilen harçların özellikle yüzeyindeki

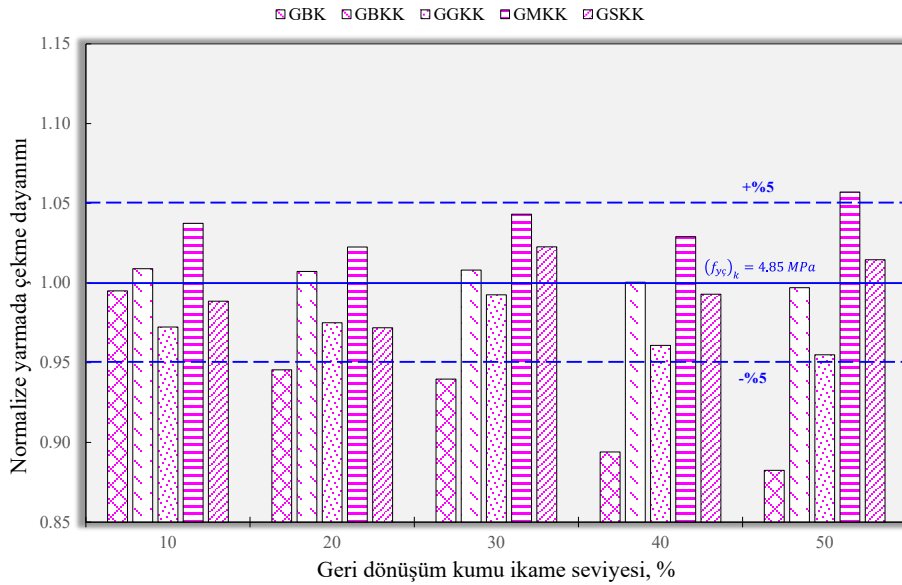
boşluk miktarının daha az olduğu ifade edilebilir. Bu tarz kompozit malzemelerin su emme özelliği bünyesindeki boşluk oranı ile orantılı bir şekilde değişmektedir. Malzeme bünyesindeki boşluğun da malzemenin dayanımı ile ilişkili olduğu göz önünde bulundurulursa daha düşük su emme kapasitesinin dolaylı olarak daha yüksek dayanım sağlayacağı sonucuna varılabilir. Bu iki özellik arasındaki ilişkiyi Çizelge 4’te verilen basınç dayanımı değerlerine bakarak da görebiliriz. Bazalt, granit ve mermer karoların geri dönüşümünden elde edilen kumlarla üretilen geopolimer harçların görece daha yüksek basınç dayanımına sahip olduğu betonun geri dönüştürülmesinden elde edilen kumlarla üretilen harçlarda ise basınç dayanımında dikkate değer bir değişimin olmadığı görülecektir.



Şekil 7. Geri dönüşüm kumu ile üretilen geopolimer harçların su emme oranlarındaki değişim

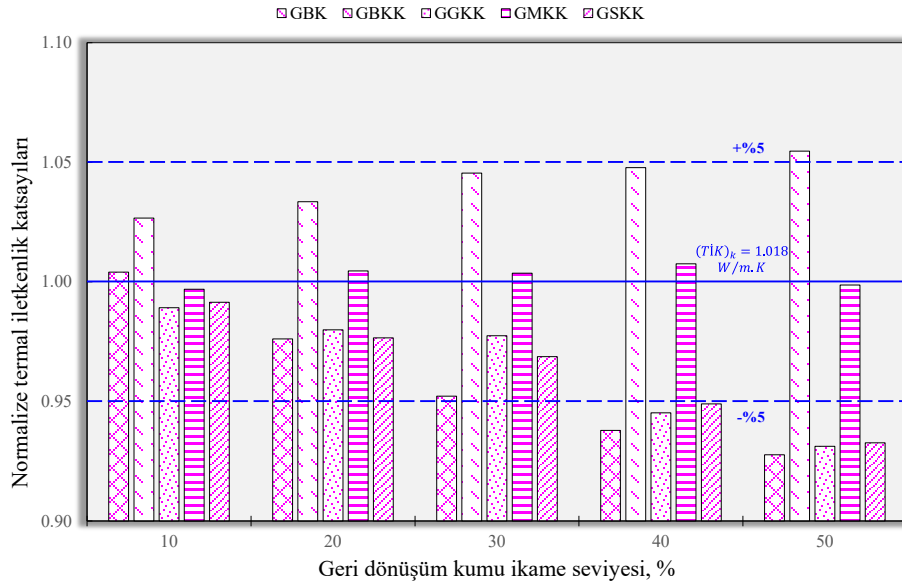
Bu çalışmanın en önemli noktalarından bir tanesi, çalışma kapsamında gerçekleştirilen yarmada çekme dayanımı testinin kum numune üzerinde diyagonal yükleme ile yapılmış olmasıdır. Teorik olarak açıklaması deney yöntemleri kısmında verilen bu yöntem kapsamında %100 DK ile üretilen kontrol geopolimer harcın yarmada çekme dayanımı 4.85 MPa olarak belirlenmiştir. Diğer geopolimer harçların kontrol karışımına göre normalize edilmiş yarmada çekme dayanımları Şekil 8’de sunulmuştur. Bu normalize yarmada çekme dayanımları incelendiğinde görüleceği üzere GBK’nin geopolimer harç üretiminde DK yerine ikame edilmesi ve ikame seviyesinin artırılması sistematik bir şekilde harcın yarmada çekme dayanımını azaltmaktadır. Özellikle %30 ikame seviyesinden sonra yarmada çekme dayanımındaki GBK kullanımından kaynaklı düşüş %10’dan fazla olmuştur. GBK’nin dahil edilmesi ve ikame seviyesinin artırılmasından kaynaklanan sistematik düşüşlerin arkasındaki neden, bu geri dönüştürülmüş kumların zayıf yapısı ile ilişkili olabilir. Örneğin, GBK partikülleri üzerinde çimento macunları ve buna bağlı olarak arayüzey geçiş bölgesi vardır, bu nedenle GBK partiküllerinin kırılması DK’dan daha kolay hale gelir. Dolayısıyla dolaylı da olsa çekme yükleri altında bu kum parçacıkları daha düşük direnç gösterecektir. GBK kadar tanımlı ve sistematik olmasa da GGKK’nin geopolimer harç üretiminde DK yerine ikame edilmesi de harçların yarmada çekme dayanımını düşürmüştür ancak bu düşüş %50 ikame seviyesinde bile %5’ten fazla değildir. Öte taraftan bazalt ve mermer karoların geri dönüştürülmesinden elde edilen kumların geopolimer harç üretiminde kullanılmasının genellikle yarmada çekme dayanımını arttırdığı sonucuna varılabilir. Ancak GSKK’nin geopolimer harç üretiminde DK yerine kullanılmasının yarmada çekme dayanımı üzerinde sürekli bir artırma veya azaltma etkisi göstermediği yine Şekil 8’de görülmektedir. GBK dışındaki geri dönüşüm kumlarının geopolimer harç üretiminde kullanımının yarmada çekme dayanımı üzerinde belirgin bir etkisi saptanmamış olsa da bu etkilerin genel olarak kontrol geopolimer harcın yarmada çekme dayanımının $\pm 5\%$ aralığında olmasından ötürü bu geri dönüşüm kumlarının DK yerine kullanılabileceği net bir şekilde ifade edilebilir. Aynı geopolimer harcından alınan numunelerin testleri sırasında da bu tür dalgalanmaların

sıklıkla görülebileceği unutulmamalıdır. Bundan ötürü, genel olarak, bu çalışmada inşaat malzemelerinden geri kazanılan kumların, geopolimer harcı üretiminde belirli seviyelerde ve kontrollü bir şekilde kullanılabilirliği söylenebilir. Ayrıca Çizelge 4’te verilen basınç dayanımı değerleri göz önünde bulundurulduğunda görüleceği gibi, bazalt, granit ve mermer karoların geri dönüştürülmesinden elde edilen kumun geopolimer harç üretiminde dere kumu ile ikame edilmesi ve ikame seviyesinin artırılması harç karışımlarının ortalama basınç dayanımlarını arttırmıştır. C25 sınıfı betonun geri dönüştürülmesinden elde edilen kumun harç üretiminde kullanımının belirgin ve sistematik bir etkisi gözlemlenmemiş olsa da her ikame seviyesinde elde edilen basınç dayanımlarının kontrol geopolimer harcın dayanımına çok yakın olduğu görülmektedir. Ancak seramik karosunun geri dönüştürülmesinden elde edilen kumun DK yerine ikame edilmesi ve ikame seviyesinin artırılması ortalama basınç dayanımında sistematik düşüşe neden olmuştur.



Şekil 8. Geri dönüşüm kumu ile üretilen geopolimer harçların yarmada çekme dayanımındaki değişim

Son olarak buradaki çalışma kapsamında üretilen geri dönüşüm kumu içeren geopolimer harçların termal iletkenlik özellikleri test edildi. TPS 500 S Hot Disk Termal Sabitler Analizatörü cihazı kullanılarak kontrol geopolimer harç için termal iletkenlik katsayısı 1.018 W/m.K olarak ölçülmüştür. Kontrol harç karışımının termal iletkenlik katsayısına göre normalize edilmiş geri dönüşüm kumu içeren geopolimer harçların termal iletkenlik katsayıları Şekil 9’da sunulmuştur. Bu grafikte verilen değerler göz önünde bulundurulduğunda GBK, GGKK ve GSKK kullanılarak üretilen geopolimer harçların termal iletkenlik katsayılarının ikameye seviyesine bağlı bir şekilde azaldığı özellikle %30 seviyesinden sonra termal iletkenlik katsayısında %5’ten fazla bir düşüş olduğu görülecektir. Öte taraftan GMKK içeren geopolimer harç karışımlarının bütün ikame seviyelerindeki termal iletkenlik katsayılarının kontrol karışımıyla neredeyse aynı olduğu görülmektedir. Tüm geri dönüşüm kumları arasında, termal iletkenliğin artışına sebep olan tek geri dönüşüm kumu GBKK’dır. Bu kumun geopolimer harç üretiminde DK yerine kullanılması termal iletkenlik katsayısını %50 ikame seviyesinde %5’in üzerinde arttırdığı gözlemlenmiştir. Bir malzemenin termal iletkenlik performansı malzemenin boşluk oranı ve dolayısıyla da birim ağırlığıyla ilgili olduğu için geopolimer harçlar gibi kompozit bir yapıya sahip olan malzemelerde, termal iletkenlik performansı kompozit malzemenin bünyesinde yer alan tüm bileşenlerin boşluk oranı ve birim ağırlığıyla ilişkilidir. Sonuçlar bu perspektiften değerlendirilince bazalt karosundan elde edilen kumun sahip olduğu yüksek özgül ağırlık değeri bu kum kullanılarak üretilen harçların da yüksek birim ağırlıkta olmasına neden olmuştur ve dolayısıyla da burada GBKK içeren harçların daha az boşluklu yapısı daha yüksek termal iletkenlik katsayısı ile sonuçlanmıştır. Bu kapsamda diğer geri dönüşüm kumları kullanılarak üretilen geopolimer harçların da termal iletkenlik performansı değerlendirilebilir.



Şekil 9. Geri dönüşüm kumu ile üretilen geopolimer harçların termal iletkenlik katsayılarındaki değişim

4. Sonuçlar

Yukarıda elde edilen bulgulara neticesinde aşağıdaki sonuçlara varılmaktadır:

- Yapısal beton, bazalt karo, seramik karo, granit karo ve mermer karo gibi yapı malzemeleri geri dönüştürülerek kum elde edilmiştir.

- Tüm geri dönüştürülmüş kumlar nehir kumu ile benzer bir gradasyon eğrisine sahipken, diğer fiziksel özellikleri ve partikül şekillerinde farklılıklar olduğu tespit edilmiştir. Ancak tüm bu farklılıklara rağmen, çalışma kapsamında üretilen geri dönüşüm kumları geopolimer harç imalatında dere kumu yerine kullanılabilirliği sonucuna ulaşılmıştır.

- Dere kumunun geri dönüşüm kumları ile ikame edilmesinin geopolimer harçların birim ağırlıklarını pek etkilemediği, sadece bazalt karosundan geri dönüştürülmesinden elde edilen kumun harçların birim ağırlığını artırdığı bu artışın da %5'ten fazla olmadığı görülmüştür.

- Geri dönüşüm kumları ile üretilen geopolimer harçların su emme oranlarının kontrol geopolimer harcından düşük olduğu gözlemlenmiştir.

- Betonun geri dönüştürülmesinden elde edilen kumun, geopolimer harç üretiminde kullanımı harçların yarmada çekme dayanımını azaltmışken mermer karonun geri dönüştürülmesinden elde edilen kum ise genel olarak harçların yarmada çekme dayanımını artırmıştır. Diğer geri dönüşüm kum tiplerinin belirgin ve sistematik bir etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir.

- Beton, granit karo ve seramik karonun geri dönüştürülmesinden elde edilen kumlar geopolimer harçların termal iletkenlik katsayılarının azalmasına neden olmuşken bazalt karonun geri dönüştürülmesinden elde edilen kumun geopolimer harçların üretiminde kullanılmasıyla harçların iletkenlik katsayısında artış gözlemlenmiştir. Ayrıca mermer karonun geri dönüştürülmesinden elde edilen kumun, geopolimer harçların termal iletkenliğine pek bir etkisi olmamıştır.

Kaynaklar

- [1] Brown G. A global sand shortage could cause damaging effects to our rapidly urbanizing world. Business Insider. <https://www.businessinsider.com/global-sand-shortage-could-cause-damaging-effects-2018-12> (Erişim Tarihi: 10.02.2022)
- [2] Gagg CR. Cement and concrete as an engineering material: An historic appraisal and case study analysis. *Engineering Failure Analysis* 2014;40:114-140. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2014.02.004>
- [3] Mermerdaş K, İpek S, Mahmood Z. Visual inspection and mechanical testing of fly ash-based fibrous geopolymer composites under freeze-thaw cycles. *Construction and Building Materials* 2021;283:122756. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122756>
- [4] Ayodele OA, İpek S, Mermerdaş K. Effect of aggregate type on the permeability of concretes having the same compressive strength. *Proceeding Book: 14th International Congress on Advances in Civil Engineering, Istanbul, Turkey; 2021.*
- [5] Peng JX, Huang L, Zhao YB, Chen P, Zeng LU, Zheng W. Modeling of carbon dioxide measurement on cement plants. *Advanced Materials Research* 2012;610-613:2120-2128, <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.610-613.2120>
- [6] Cement, IEA, Paris. <https://www.iea.org/reports/cement> (Erişim Tarihi 11.02.2022)
- [7] Lämmlein TD, Messina F, Wyrzykowski M, Terrasi GP, Lura P. Low clinker high performance concretes and their potential in CFRP-prestressed structural elements. *Cement and Concrete Composites* 2019;100:130-138. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2019.02.014>
- [8] Xie, N., Dang, Y., Shi, X. (2019) New insights into how MgCl₂ deteriorates Portland cement concrete. *Cement and Concrete Research*, 120, 244–255, <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2019.03.026>
- [9] Elchalakani M, Aly T, Abu-Aisheh E. Sustainable concrete with high volume GGBFS to build Masdar City in the UAE. *Case Studies in Construction Materials* 2014;1:10-24. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2013.11.001>
- [10] Gao T, Shen L, Shen M, Liu L, Chen F. Analysis of material flow and consumption in cement production process. *Journal of Cleaner Production* 2016;112(1):553-565. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.08.054>
- [11] Hilburg J. Concrete production produces eight percent of the world's carbon dioxide emissions. *The Architects' Newspaper*. <https://www.archpaper.com/2019/01/concrete-production-eight-percent-co2-emissions> (accessed on 20.02.2022)
- [12] Davidovits J. Properties of geopolymer cements. in *Proceedings First International Conference on Alkaline Cements and Concretes, Kiev, Ukraine; 1994.* https://www.geopolymer.org/fichiers_pdf/KIEV.pdf
- [13] Chowdhury S, Mohapatra S, Gaur A, Dwivedi G, Soni A. Study of various properties of geopolymer concrete - a review. *Materials Today: Proceedings* 2021;46(11):5687-5695. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.835>
- [14] Turner LK, Collins, FG. Carbon dioxide equivalent (CO₂-e) emissions: a comparison between geopolymer and OPC cement concrete. *Construction and Building Materials* 2013;43:125-130. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.01.023>
- [15] Rovnaník P, Šafránková K. Thermal behaviour of metakaolin/fly ash geopolymers with chamotte aggregate. *Materials* 2016;9(7):535. <https://doi.org/10.3390/ma9070535>
- [16] Mermerdaş K, Manguri S, Nassani DE, Olewi SM. Effect of aggregate properties on the mechanical and absorption characteristics of geopolymer mortar. *Engineering Science and Technology, an International Journal* 2017;20(6):1642-1652. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2017.11.009>
- [17] Mohseni E, Kazemi MJ, Koushkbaghi M, Zehtab B, Behforouz B. Evaluation of mechanical and durability properties of fiber-reinforced lightweight geopolymer composites based on rice husk ash and nanoalumina. *Construction and Building Materials* 2019;209:532-540. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.067>

- [18] Ekmen Ş, Mermerdaş K, Algin Z. Effect of oxide composition and ingredient proportions on the rheological and mechanical properties of geopolymer mortar incorporating pumice aggregate. *Journal of Building Engineering* 2021;34:101893. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101893>
- [19] Li H, Gao P, Xu F, Sun T, Zhou Y, Zhu J, Peng C, Lin J. Effect of fine aggregate particle characteristics on mechanical properties of fly ash-based geopolymer mortar. *Minerals* 2021;11(8):897. <https://doi.org/10.3390/min11080897>
- [20] Wongsa A, Sata V, Nematollahi B, Sanjayan J, Chindapasirt P. Mechanical and thermal properties of lightweight geopolymer mortar incorporating crumb rubber. *Journal of Cleaner Production* 2018;195:1069-1080. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.003>
- [21] Poggetto GD, D'Angelo A, Blanco I, Piccolella S, Leonelli C, Catauro M. FT-IR study, thermal analysis, and evaluation of the antibacterial activity of a MK-geopolymer mortar using glass waste as fine aggregate. *Polymers* 2021;13(17):2970. <https://doi.org/10.3390/polym13172970>
- [22] Priyadharshini P, Ramamurthy K, Robinson RG. Excavated soil waste as fine aggregate in fly ash based geopolymer mortar. *Applied Clay Science* 2017;146:81-91. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2017.05.038>
- [23] Zhu P, Hua M, Liu H, Wang X, Chen C. Interfacial evaluation of geopolymer mortar prepared with recycled geopolymer fine aggregates. *Construction and Building Materials*, 2020;259:119849. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119849>
- [24] Mermerdaş K, İpek S, Sor NH, Mulapeer ES, Ekmen Ş. The impact of artificial lightweight aggregate on the engineering features of geopolymer mortar. *Turkish Journal of Nature and Science* 2020;9(1):79-90. <https://doi.org/10.46810/tdfd.718895>
- [25] Standard Test Methods for Sampling and Testing Fly Ash or Natural Pozzolans for Use in Portland-Cement Concrete. American Society for Testing and Materials ASTM C311/C311M-18; 2018. https://doi.org/10.1520/C0311_C0311M-18
- [26] Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete. American Society for Testing and Materials ASTM C618-19; 2019. <https://doi.org/10.1520/C0618-19>
- [27] Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates. American Society for Testing and Materials ASTM C136/C136M-19; 2019. https://doi.org/10.1520/C0136_C0136M-19
- [28] Standard Specification for Concrete Aggregates. American Society for Testing and Materials ASTM C33; 2018. https://doi.org/10.1520/C0033_C0033M-18
- [29] Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate. ASTM International ASTM C127-15; 2015. <https://doi.org/10.1520/C0127-15>
- [30] İpek S. Macro and micro characteristics of eco-friendly fly ash-based geopolymer composites made of different types of recycled sand. *Journal of Building Engineering*, 2022;52:104431. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104431>
- [31] Hou Y, Wang D, Zhou W, Lu H, Wang L. Effect of activator and curing mode on fly ash-based geopolymers. *Journal of Wuhan University of Technology-Materials Science Edition* 2009;24(5):711-715. <https://doi.org/10.1007/s11595-009-5711-3>
- [32] Standard Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete. American Society for Testing and Materials ASTM C138/C138M-17a; 2017. https://doi.org/10.1520/C0138_C0138M-17A
- [33] Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete. American Society for Testing and Materials ASTM C642-13; 2013. <https://doi.org/10.1520/C0642-13>
- [34] Gambhir ML. *Concrete Technology*. 5th ed. New Delhi: McGraw-Hill Education; 2013.
- [35] TS-EN 206+A1. *Beton- Özellik, performans, imalat ve uygunluk*. Turkish Standard Institute, Turkey; 2017.

ŞANLIURFA İLİ KIRSALINDA İÇME SUYU KAYNAKLARINDAKİ NİTRAT KİRLENMESİNİN İYON DEĞİŞİMİ METODU İLE ARITILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Mustafa ASOĞLU^{1*}, Yakup CUCİ², Mehmet Fatih DİLEKOĞLU³

¹Şanlıurfa Büyükşehir Belediyesi, Haliliye 63000, Şanlıurfa, Türkiye

²Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Onikişubat 46100 Kahramanmaraş, Türkiye

³Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Haliliye 63050, Şanlıurfa, Türkiye

Geliş Tarihi/Received Date: 24.03.2022 Kabul Tarihi/Accepted Date: 28.07.2022 DOI: 10.54365/adyumbd.1091520

ÖZET

Bu çalışmada Şanlıurfa İli kırsalındaki bazı yerleşim yerlerinde nitrat kirlenmesinin sebep olduğu içme suyu olarak kullanılan yer altı sularındaki nitrat seviyesi ve içme suyu olarak kullanılabilme üzere yerinde uygulanabilecek bertaraf çözümü araştırılmıştır. Yapılan çalışmada bu içme suyu kuyularının büyük bir tarımsal arazi olan Harran Ovası içerisindeki köy yerleşim yerleri içerisinde yer aldığı ve ekseriyetle sınır değer olan 50 mg/L değerinin üzerinde nitrat konsantrasyonuna sahip olduğu tespit edilmiştir. Köy yerlerinde kullanılabilir işletimi kolay bir çözüm üzerinde durularak en uygun seçeneğin iyon değiştirici reçine olabileceğine karar kılınmıştır. Buna göre nitrat iyonlarının giderilebildiği ticari reçine ile pilot ölçekli çalışmalar yürütülerek paket kolon tasarımı yapılmıştır. Çalışmanın yapıldığı Yığınak köyü içme suyu kuyusu için giriş suyu konsantrasyonunu 125 mg/L den 50 mg/L'ye kadar giderebilecek iyon değiştirici kolon'un 4,3 gün çalışma süresine sahip olarak iki adet 1,5 m derinliğinde ve 1 metre çapında olmasının yeterli olacağı hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: İyon değişimi, nitrat, su kirliliği, yer altı suyu

INVESTIGATION OF THE PURIFICATION OF NITRATE POLLUTION IN DRINKING WATER RESOURCES IN THE COUNTRYSIDE OF ŞANLIURFA PROVINCE BY ION EXCHANGE METHOD

ABSTRACT

In this study, nitrate level in groundwater used as drinking water caused by nitrate contamination in some settlements in Şanlıurfa province countryside and on-site disposal solution to be used as drinking water were investigated. In the research, it was determined that these drinking water wells are located in village settlements in Harran Plain, which is a large agricultural land, and have a concentration of nitrates above the limit value of 50 mg/L. It was decided that the most suitable option could be ion changer resin by focusing on an easy-to-operate solution that can be used in village locations. Accordingly, pilot scale studies were carried out with commercial resin, where nitrate ions can be removed, and package column design was made. It was calculated that the ion exchange column, which can remove the inlet water concentration from 125 mg/L to 50 mg/L for the drinking water well of Yığınak village where the study was conducted, would be sufficient to have two 1.5 m depth and 1-meter diameter with an operating time of 4.3 days.

Keywords: İon exchange, nitrate, water pollution, ground water

*1e-posta: mustafaasoglu@msn.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4598-4993> (Sorumlu Yazar)

²e-posta: cuci@ksu.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4318-9934>

³e-posta: dilekoglu@harran.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7407-1635>

1. Giriş

Kavram olarak çevre, her ne kadar kolay ve açık bir ifade gibi görünse de kavramın derinliğine inildikçe oldukça karmaşık ve sınırlandırılmasının güç olduğu anlaşılmaktadır. Hassaten büyük kentlerin su havzaları; aşırı yapılaşma, endüstrileşme ve zirai faaliyetler neticesinde kirlenmektedir. Su kaynakları patojen canlıların yok edilmesi amacıyla kullanılan ilaçların yanı sıra tarımsal amaçla yapılan ilaçlamalar nedeni ile ilaç partiküllerinin rüzgârla sulara geçmesi veya pestisit üretimi yapan fabrika atıklarının su kaynaklarına deşarjı sebebi ile kirlenmektedir. Öte yandan, kimyasal gübrelerin lüzumsuz ve bilinçsiz kullanımı da zamanla toprağı tuzlulaştırarak çoraklaştırmakta ve doğal döngü ile gerek su kirlenmesine ve gerekse öteki etkileri ile olumsuzluklar oluşturmaktadır. Bu gibi sebeplerle de hem yüzey hem de yer altı sularının su toplama havzalarının mutlaka koruma altına alınması oldukça önemlidir. Zirai faaliyetten ötürü oluşabilecek kirliliğin engellenmesine yönelik alınabilecek önlemler de bu bağlamda değerlendirilmelidir. Buradan hareketle zirai işletmeler için faaliyetlerinin içme suyu havzasındaki etkilerinin en aza indirgenmesi gerekmektedir. Bu nedenle konvansiyonel zirai üretim metotlarından çevre dostu ziraat yöntemlerine (organik tarım gibi) geçiş ehemmiyet kazanmaktadır.

Nitrat (NO_3^-) son derece geniş alanlara yayılım kabiliyetine sahiptir, bu nedenle önemli kirleticiler arasında yer almaktadır. Araştırmalar, zirai faaliyetler ile nitrat kirliliği arasında bir ilişkinin varlığını belirtmektedir. Yer altı sularının karşı karşıya olduğu kirlenmelerde ise ilk olarak nitrat kirlenmeleri kendini göstermektedir. Toprak ve yüzey sularının kirlenmesinin yanı sıra yer altı suyunun nitrat kirlenmesine maruziyeti de ciddi çevresel kirlenmeye sebebiyet vermektedir. Zirai faaliyetlerden doğan en büyük kirlenme de birçok su kaynağında sık sık görülen, çözünabilirlik hususiyetinden dolayı son derece kolay yer değiştirebilen ve kalıcı özellikteki nitrat kirlenmeleridir.

Ülkemizde İçme suyu kaynaklarındaki yüksek nitrat konsantrasyonları halk sağlığı adına büyük bir risk oluşturur. Şanlıurfa Harran Ovasında yapılan araştırmada 20 örnek kuyu belirlenmiş ve bu kuyulardan alınan sularda nitrat değerleri 20-317 mg/L arasında çıkmıştır. Buna göre nitrat kirlilik değerinin TS 266, WHO (1998) VE EU (1998) tarafından 50 mg/L sınırının üzerinde olduğu tespit edilmiştir [1]. Bu anlamda ülkemizde Sağlık Bakanlığınca 17.02.2005 tarihinde yayımlanan ve amacı insani tüketim amaçlı suların teknik ve hijyenik uygunluğu ile suların kalite standartlarının oluşturulması, kaynak suları ve diğer suların elde edilmesi, paketlenmesi, etiketlenip satışa sunulması gibi esasları düzenlemek olan “İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmelik “çıkarılmış ve bu kapsamda içme suyunda nitrat sınır değeri 50 mg/L olarak belirlenmiştir [2].

Dünya Sağlık Örgütü tarafından Kanada'da yapılan incelemede 2.000 kuyunun %31,5' inin 20 mg/L'den fazla nitrat içerdiği [3], kentsel atık suların nitrat değerine etkisi bakımından yüzey suyunda bulunan nitratların %40' ına kadar oluşturabildiği gözlemlenmiştir. Bununla beraber azotlu gübre kullanımının artması, otlaktan tarıma kadar arazi kullanım modellerinde meydana gelen değişiklikler ve evsel atıksuların nehirlerle deşarjı sonucunda su ortamlarında nitrat seviyeleri hızla artmaktadır [4,5,6].

Ülkemizde “İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik” kapsamında azotlu parametreler için sınır değerler Çizelge 1'de verilmiştir [2].

Çizelge 1. Azotlu Parametreler İçin Sınır Değerler

Parametre	Sınır değeri(mg/L)
NH_4 (Amonyum)	0,5
NO_2^- (Nitrit)	0,5
NO_3^- (Nitrat)	50

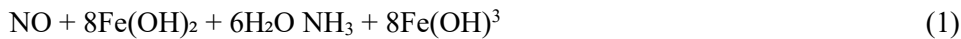
İçme suyunda nitrat kaynaklı oluşan başlıca sağlık sorunu, bebeklerde “Mavi Bebek Sendromu” diye tanımlanan methemoglobi gelişimidir. Nitratın nitrite dönüşümüyle ya da direkt yüksek oranlarda

vücuda giren nitritin kan dolaşımına karışmasıyla methemoglobin (MHb) varlığı görülmekte ve alyuvarların oksijen iletim etkinliğini düşürerek anemik hipoksi meydana getirmektedir [7]. Hemoglobinin methemoglobine dönüşmesi vücutta normalde de oluşmaktadır. Ancak alyuvarlarda var olan redüktaz, methemoglobini yeniden hemoglobine çevirir. Hususen yeni doğan bebeklerde enzim sisteminin tam olarak gelişmemiş olmasıyla birlikte oluşan methemoglobin hemoglobine dönüşemez [8]. İçme suyunda yüksek nitrat kaynaklı su tüketiminin kanser için bir risk oluşturup oluşturmadığı ile ilgili olan epidemiyolojik araştırmaların sonuçları farklılık arz etmektedir [9].

İçme sularında yüksek nitrat bulunmasına bağlı birçok etkiden de söz edilebilir. Almanya'da gerçekleştirilmiş olan bir çalışmada, yüksek nitrat ihtiva eden su içen kişilerde, düşük nitrat konsantrasyonuna sahip suları içen kişilere göre guatr hastalığının oluşmasında artış olduğu görülmüştür [9]. Nitrat, nitrit ve N-nitroso bileşenlerinin üremeye olabilecek etkileri araştırılmış, Avustralya'da yapılan bir çalışmada, ortalama 26 ppm nitrat ihtiva eden yer altı suyunu içen bölge çocuklarında merkezi sinir sistemlerinde malformasyon oluşma ihtimalinin arttığı görülmüştür [10].

Nitrat giderim proseslerinden biri; biyolojik denitrifikasyon olup genellikle belediye ve endüstriyel atık suların arıtılmasında kullanılır. Bununla birlikte, artan bilgi ve deneyim, biyolojik arıtmanın nitratları içme suyundan gidermede etkili olabileceğini göstermektedir. Biyolojik denitrifikasyon prosesleriyle, Avrupa'daki hem laboratuvar hem de tam ölçekli tesislerde çalışılmış ve süreç Kuzey Amerika'da sınırlı ölçüde değerlendirilmiştir. Bu prosesin yaygınlaşmamış olmasının ana nedenleri su arıtımı sürecinde arıtılmış suyun olası bakteriyel artışı, artık organiklerin oluşabileceği ile ilgili sorunlardır. Ayrıca arıtılmış suda klor ihtiyacı meydana gelmesi ve bakteri sayısı artışı olumsuz yönleri olarak sayılabilir. Biyolojik denitrifikasyon ile ilgili Bouwer, Rittman, Gayle ve Mateju tarafından çalışmalar yapılmıştır [11, 12,13,14].

Nitrat giderimi, kimyasal işlemler kullanılarak da gerçekleştirilebilir. İndirgeme, aşağıdaki reaksiyona göre belirli pH koşulları altında gerçekleşir [15];



Deneysel sonuçlar, reaksiyonun ilerlemesi için bir bakır katalizör varlığında yaklaşık 15/1'lik bir Fe/NO₃⁻ oranının gerekli olduğunu göstermiştir. Bu işlem, büyük miktarlarda demir içerikli çamuru üretmiş ve hava sıyırma yoluyla uzaklaştırılması gereken amonyak oluşturmuştur.

Ters Osmos (RO) prosesi ile nitrat giderimi, suda bulunan iyonların, yarı geçirgen bir zardan geçirilmesi esasına dayanmaktadır. Nitratların uzaklaştırılması, RO hücrelerindeki suyun, karşılık gelen ozmotik basıncını aşan basınçlara tabi tutulması sonucunda gerçekleştirilmektedir. Güter 1.000 saat boyunca spiral sargılı selüloz asetatlı RO sistemini test etmiş, 18 ila 25 mg/L arasında değişen nitrat konsantrasyonları için %65'e kadar giderim gözlenmiştir [16].

Elektrodiyaliz (ED) yöntemiyle nitrat giderim işleminde ED iyonları membranlar yardımıyla farklı konsantrasyon çözeltiler arası geçişler yoluyla gerçekleştirilmektedir. Bu amaçla bir doğru elektrik akımı olarak ED, istenmeyen iyonları yarı geçirgen bir membrandan seçici olarak uzaklaştırarak suyu arındırır. Miquel ve Oldani, ED'ye dayalı seçici bir nitrat giderme işlemi olan NitRem'i geliştirmiş ve nitrat konsantrasyonlarının 50 mg/L ve daha fazla değerden 25 mg/L değerinin altına düşürülmesinde etkili olduğu görülmüştür [17].

İyon değiştirme prosesi, katı parçacıklı yüzeyde bulunan yüklü fonksiyonel gruplara bağlı iyonların, çözelti içerisindeki aynı yükü yüklenmiş olan iyonlarla yer değiştirmesi esasına dayanmaktadır. Tüklenen reçine, konsantrasyon bir sodyum klorür veya sodyum bikarbonat çözeltisi kullanılarak yeniden aktif hale getirilmektedir.

Bergquist ve ark. [18], iyon değiştirme prosesi kapsamında yaptıkları çalışmada; içme sularında nitrat giderme amaçlı iyon değiştirici reçinelerde rejenerasyon amaçlı kullanılan atık tuzlu suyun yeniden kullanım için katalitik olarak işlendiği bir hibrit iyon değişim-katalizör arıtma sistemini

incelemişlerdir. İki yataklı hacim rejenerasyonuna sahip geleneksel bir iyon değiştiricili sistem ile aynı rejenerasyon uzunluğuna sahip bir hibrit sisteme geçiş ve seri katalitik reaktör kullanmanın tuz maliyetinde %76 tasarruf sağlayacağı belirtilmiştir [18].

Samatya ve ark. [19] tarafından iyon değiştirici reçine kullanılarak yapılan çalışmada, nitratın nitrat seçici iyon değiştirme reçinesi olan Purolite A 520E ile uzaklaştırılması konusu incelenmiştir. Spesifik reçine Purolite A 520E nitrat gidermede iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Purolite A 520E kullanılan iyon değiştirme işlemi, küçük ölçekli su tedarikçilerinde nitrat giderimi için daha yaygın ve ekonomik olarak uygulanabilir olduğu görüşüne varılmıştır [19].

Su kaynaklarından bazı nitrat giderme proseslerinin mukayesesi Çizelge 2’de belirtilmiştir.

Çizelge 2. Bazı nitrat giderim yöntemlerinin mukayesesi [20].

İyon Değiştirme	<ul style="list-style-type: none"> • Atık tuzlu su oluşturma ve giderim gerekliliği. • pH ve sıcaklık etkisi önemli değil. • Çıkış suyunun aşındırıcı özelliğinden dolayı son işlem gereklidir. • Yaklaşık % 90 oranında giderim sağlamaktadır. • Orta işletme maliyetine sahiptir.
Ters Osmoz	<ul style="list-style-type: none"> • Yüksek iletkenliğin (TDS) giderilmesi gerekir. • pH ve sıcaklık etkisi önemli değil • Çıkış suyunun aşındırıcı özelliğinden dolayı son işlem gereklidir. • > %95 oranında giderim sağlanır. • Yüksek işletme maliyetine sahiptir.
Adsorbsiyon	<ul style="list-style-type: none"> • Kullanılmış adsorbantın bertarafı gerekir. • pH ve sıcaklık değerleri önemlidir. • Giderim verimleri farklı adsorbantlarda değişim gösterir. • Orta işletme maliyetine sahiptir.
Kimyasal Yöntemler	<ul style="list-style-type: none"> • Atıksu bertarafı gerekmez. • pH ve sıcaklık değerleri önemlidir. • İşlem sonrasında giderilmesi gereken yan ürünler oluşur. • % 60-70 oranında giderim sağlanır. • Yüksek işletme maliyetine sahiptir.
Biyolojik Yöntemler	<ul style="list-style-type: none"> • Oluşacak biyokütle atığın bertarafı gereklidir. • Sıcaklık değeri önemlidir. • Mikroorganizma içerikli yan ürünler oluşur. • % 99 gibi yüksek giderim verimi elde edilebilir. • Orta işletim maliyetine sahiptir.

Nitratın büyük gözenekli güçlü bazik anyon değişim reçinesi ile sudan seçici olarak uzaklaştırılması konulu çalışmada, daha yüksek seçici adsorpsiyon kabiliyetine sahip yeni bir NDP-2 reçinesi ile nitratın başarıyla giderildiği ve D201 ve Purolite A 300 reçinelerine göre NDP-2 reçinesinin daha yüksek adsorpsiyon etkisi gösterdiği açıklanmıştır [21].

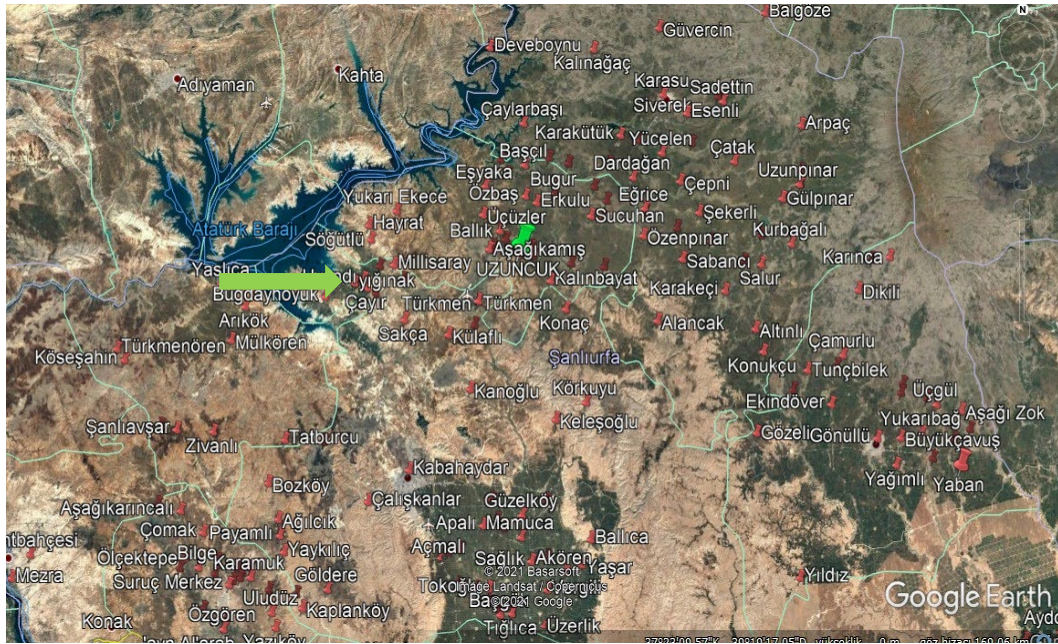
İyon değişim reçinesi üzerinde yapılan araştırmada, nitrat iyonlarının adsorpsiyon kinetiği üzerine çalışma yapılmıştır. Bu çalışmanın amacı, iyon değişimi ile nitrat giderimi modellenmesinde deneysel birinci derece, ikinci derece, Elovich modelleri ve teorik modelleri (ikinci derece kimyasal reaksiyon hızı, film difüzyonu ve parçacık difüzyon modelleri) karşılaştırmaktır. Modelleme çalışmaları sonucunda ampirik korelasyon kullanılarak yapılan sütun modeli tahminleri tatmin edici düzeyde bir doğruluk göstermiştir [22].

İçme suyu kaynaklarından nitrat giderimi konusunda işletimi kolay, nitrat giderim verimi yüksek olan iyon değiştirici metod kullanılmak suretiyle, giderme verimi, ilk yatırım ve işletme giderleri bakımından literatürde mevcut çalışmaların yetersiz olduğu dikkate alınarak bu çalışma gerçekleştirilmiştir. Şanlıurfa ilinde GAP projesi kapsamında tarımsal sulama yapılan kırsal bölgenin her geçen gün artması ve bununla beraber su kalitesinden sorumlu kurumlara nitrat giderimi hususunda kaynaklık etmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metod

2.1. Çalışma Alanı

Şanlıurfa ili, coğrafi bölge olarak Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin Orta Fırat Bölümü'nde yer almaktadır. Şanlıurfa bir tarım kenti olup halk geçimini çoğunlukla tarım ve hayvancılıktan karşılamaktadır. Şanlıurfa İl Planlama ve Koordinasyon Müdürlüğü'nün, 2004 yılı verilerine göre, Şanlıurfa'daki tarım arazilerinin %90,3'ü (1.084.755 ha) ekili, %9,7'si (117.067 ha) ise dikili alan olarak değerlendirilmektedir. Toplam tarım alanları içerisinde sulu tarım arazileri ekili-dikili araziler yönünden ele alındığında, ekili arazilerin %25,9'unda (312.517 ha), dikili arazilerin ise yalnızca %0,1'inde (1.249 ha) sulu tarım gerçekleştirilmektedir [23]. Ancak her geçen yıl tarımsal sulama artmakta ve böylelikle yer altı sularında nitrat değerini aşan içme suyu kuyularının sayısı da her geçen gün artmaktadır. Şanlıurfa İl Sağlık Müdürlüğünden alınan verilere göre il genelinde nitrat seviyesi sınır değerinin üzerinde olan yerlerin listesi alınmış ve harita üzerinde işaretlenmiştir (Şekil 1) [24].



Şekil 1. İl genelinde içme suyu kuyularında nitrat seviyesi yüksek mahalleler [24]

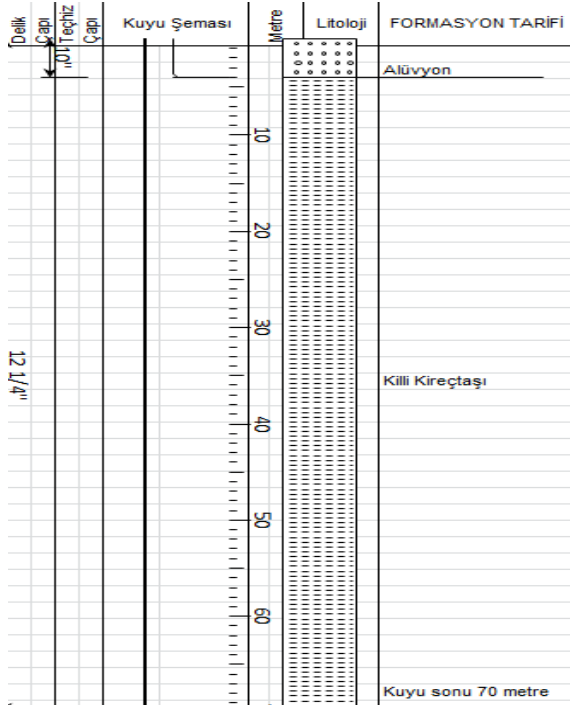
Yaptığımız çalışmada Şanlıurfa merkez ilçelerinden Karaköprü ilçesine bağlı Yığınak kırsal mahallesinin (Şekil 1'de yeşil işaretli nokta) içme ve kullanma suyu amaçlı kullandığı yer altı kuyusunda su kalitesi nitrat özelinde ele alınmıştır.

Çalışmada kullanılan pilot kolonda iyon değiştirici reçine olarak ticari ismi PUROLITE A520E reçine kullanılmıştır. Bu reçinenin fiziksel-kimyasal özellikleri Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3. Purolite A 520E nitrat giderim reçine bilgileri

Görünüm	Makro Gözenekli Tipte DVB ile Çapraz Bağlanmış Polystyrene
Fonksiyonel Gruplar	Dörtlü Amonyum
Fiziksel Görünüş	Opak Toplar, Bej Renk
Granül Boyutları	0,3-1,2 mm
İyonik Form	Cl ⁻
Toplam Değişim Kapasitesi	0,9 meq/mL (minimum)
Nem	45-52 %
Sıcaklık Limiti	100 °C
pH Limitleri	0-14
Yoğunluk	1,06 g/mL

Yığınak mahallesi içme suyu kuyusunun ilk 3 metre'lik kısmı alüvyon malzemeye sahip olup, geri kalan ve kuyu sonu olan 70 metre'ye kadarlık kısmı ise killi kireç taşı özelliklerine sahiptir. Kuyu koordinatı 37°26'50''N 38°40'08''E olup, 2019 yılı nüfus verilerine göre 374 kişiye hizmet etmektedir [25]. Kuyudan alınan su, sıvı klor ile klorlanarak ayaklı su deposuna terfi ettirilip sonra şebekeye verilmektedir. Çalışma yapılan bölge ile ilgili bilgiler Şanlıurfa İl Sağlık Müdürlüğü, ŞUSKİ (Şanlıurfa Su ve Kanalizasyon İşleri) Genel Müdürlüğü ve TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu) verilerinden faydalanılarak elde edilmiştir. Şanlıurfa İl Sağlık Müdürlüğü ve ŞUSKİ, il genelinde içme suyu kaynaklarından düzenli olarak numuneler alıp kurum laboratuvarlarında analizlerini yapmakta olup; bu kurumlara başvurulması durumunda su kaynaklarındaki kirlilik boyutu ile ilgili bilgilere ulaşılabilecektir. Çalışma yapılan Yığınak kırsal mahalle ile ilgili kuyu formasyonu Şekil 2 (a)'da ve kuyu görüntüsü Şekil 2 (b)'de görülmektedir.

**Şekil 2. (a)** Yığınak mahallesi kuyu formasyonu**Şekil 2. (b)** Yığınak mahallesi kuyu görüntüsü

2.2. Metot

Laboratuvar lekli pilot kolon kullanarak yapılan çalışmada sistem sürekli çalışma esasına göre işletilmiştir. Kullanılan pilot kolon 22 cm çapında ve 107 cm yüksekliğinde silindirik yapıdadır. Pilot kolon ve düzenek şekil 2’de gösterilmiştir. Pilot çalışmada kolon içerisinde 12 kg reçine kullanılmıştır. Ham su sırasıyla basınç kırıcı, debimetre, reçine tankına girip tankın çıkışında arıtılmış olarak alınmıştır. Yapılan çalışmada 2021 yılı ilk 8 ayı içerisinde şanlıurfa il sınırları içerisinde bulunan Yığmak kırsal mahallesine ait içme suyu kuyusundan numuneler alınmış, analizler şanlıurfa Büyükşehir Belediyesi İçme Suyu Arıtma Tesisi Laboratuvarında yapılmıştır.

Nitrat giderim ile ilgili çalışma yapılan pilot tesis değerleri izelge 4’ te verilmiştir.

Paket kolon tasarımına esas veriler elde edildikten sonra aynı oranda büyütme yaklaşımı ile tasarım yapılmıştır [26].

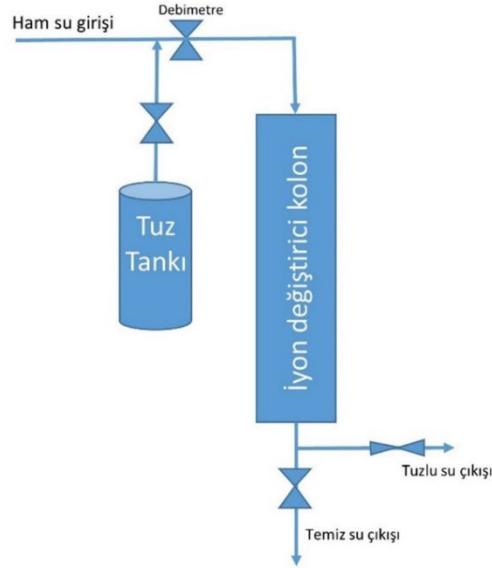
Çizelge 4. Pilot tesis verileri

Parametre	Değer
Pilot tesis giriş NO ₃ konsantrasyonu	125 mg/L
Pilot tesis çalışma debisi	510 L/saat
Numune alma periyodu	10 dakikada bir(yaklaşık 100 litre akış)

Pilot tesis görüntüsü şekil 3(a)’da ve akış şeması şekil 3(b)’de görünmektedir.



(a)



(b)

şekil 3.(a) İyon değiştirme pilot tesis resmi

şekil 3.(b) İyon değiştirme akış şeması

Doğunluğa ulaşan reçinenin yeniden kullanımı amacıyla tuzlu su ile rejenerasyon işlemi gerçekleştirilmiştir.

3. Sonuçlar

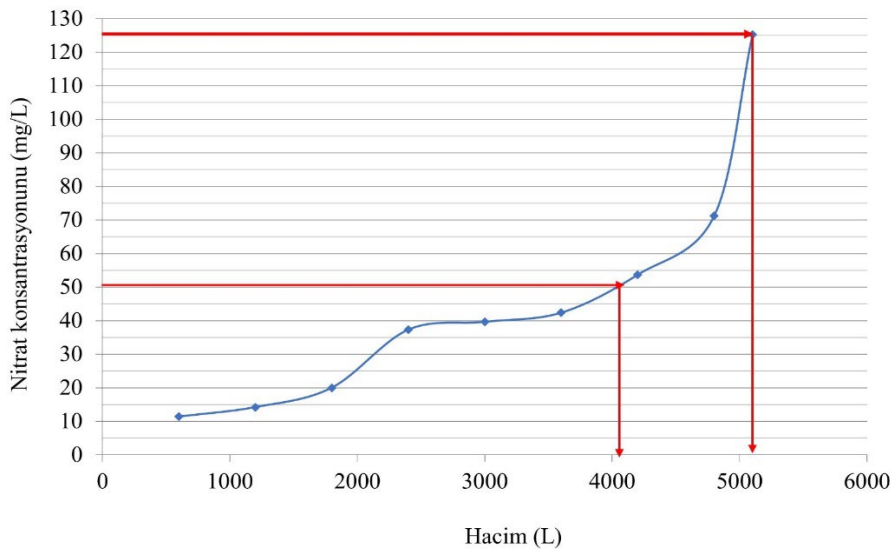
Pilot kolon giriş ve çıkış su analiz sonuçları Çizelge 5’te verilmiştir. İçme suyu analizleri EC metre, pH Metre, Turbidimetre ve spektrofotometrik(kit) yöntemler ile yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar kullanılarak Şekil 4’teki atılım eğrisi oluşturulmuştur.

Çizelge 5. Pilot kolon giriş ve çıkış su analizleri

Parametreler	Mevzuat Limiti	Analiz Metodu	Giriş Değerleri	Çıkış Değerleri
İletkenlik ($\mu\text{S} / \text{cm}$)	2500	ISO 10304	715	685
pH	6,5<Ph<9,5	TS 3263	8,18	8,12
Bulanıklık (NTU)	5	SM 2130 B	1,8	1,5
Koku (TKEDY)*	TKEDY	Organoleptik	Kendine Has	Kendine Has
Renk (TKEDY)	TKEDY	SM 2120 C	Kendine Has	Kendine Has
Tat (TKEDY)	TKEDY	Organoleptik	Kendine Has	Kendine Has
Nitrit (mg/L)	0,5	SM 4500 B	0,084	0,080
Florür (mg/L)	1,5	SM 4500 B	0,59	0,55
Klorür (mg/L)	250	SM 4500 B	35,6	35,6
Sülfat (mg/L)	250	SM 4500 E	37	35
Nitrat (mg/L)	50	TS 6321	125,3	12,7
Amonyum (mg/L)	0,5	SM 4500 B	0,38	0,35

*TKEDY: Tüketicilerce Kabul Edilebilir Herhangi Bir Anormal Değişim Yok.

Şekil 4’ te görülen Atılım Eğrisinde, pilot tesis çıkış nitrat değeri 50 mg/L değeri görülünceye kadar geçen su hacmi kayıt edilmiş, sonra sistem çalıştırılmaya devam edilmiş, çıkış suyu nitrat değeri giriş suyu nitrat değerine eşitlendiği anda sistemin geçirdiği su hacmi tespit edilmiştir. Buradan atılım hacmi, tükenme hacmi değerleri elde edilerek kolon çalışması hesaplamalarında kullanılmıştır.



Şekil 4. Atılım Eğrisi

Pilot kolon ile elde edilen sonuçlar izelge 6’da verilmiştir.

Çizelge 6. Pilot kolon çalışması sonuçları

Parametre	Değer
Giriş Konsantrasyonu(Co), mg/L	125
Denge Konsantrasyonu(Ce), mg/L	50
Atılım hacmi, L	4.000
Tükenme hacmi, L	5100
Pilot kolon debisi, L/saat	510
Paket kolon debisi, L/saat	13.500
Pilot kolon çapı, cm	20
Pilot kolon reçine yüksekliği, cm	35
Dolgu yatak reçine yoğunluğu, kg/L	1,07

Laboratuvarda elde edilen sonuçlar aynı oranda büyüme (scale-up) metodu ile paket kolon tasarımı yapılmıştır. Sonuçlar izelge 7’de verilmiştir.

Çizelge 7. Paket kolon tasarım sonuçları

Parametre	Pilot tesis	Paket kolon
Filtrasyon Hızı (cm/saat)	1.623,00	1.623,00
Kolon Alanı (cm ²)	314,00	8.312,00
Kolon Yüksekliği (cm)	35,00	150,00
Kullanılacak Reçine Miktarı (kg)	11,00	1.260,00
Nitrat Giderim Miktarı mg/gr NO ₃	54,00	54,00
Atılım Zamanı (gün)	4,30	4,30

Kurulacak olan tesis 2 adet 150 cm derinliğe sahip kolon ve 1 adet yedek kolon olmak üzere 3 adet paket kolon olacaktır. Reçine her kolonda ortalama 4 günde bir tuz çözeltisi ile rejenerasyon işlemine tabi tutulacaktır.

Pilot tesis çalışmalarında her bir rejenerasyon işleminde 25 L su ve 1 kg tuz kullanılmıştır. Rejenerasyon yaklaşık 180 dakika sürmüştür. Bu veriler ışığında paket kolon ölçeğinde hesaplanarak paket kolonun her bir rejenerasyonu için 2.864 L su ve 115 kg tuz gerekecektir. Rejenerasyon işleminde kullanılacak su yer altı suyu olup maliyeti 0,28 \$/ton, aynı işleminde kullanılan tuzun fiyatı 0,14 \$/kg olarak alınmıştır. Kolonların aylık toplam rejenerasyon sayısı 14 olup, işletim maliyeti çıkarılırken dikkate alınmıştır. Reçinenin iyon değiştirme kapasitesi olduğunda elektronik valf otomatik olarak rejenerasyon işlemini başlatacaktır. Rejenerasyon yapılan kolon yedek pozisyonuna geçip, daha önce yedek olan kolon devreye girerek sistem 2 kolon aktif halde kalacak şekilde iyon değişimi ile arıtım işlemine devam edecektir. Rejenerasyon işleminde çıkan atık su tahliye edilecektir.

Boyutlandırması yapılan sistem için günümüz fiyatları ile maliyet hesaplaması yapılmıştır. İlk yatırım maliyetine nakliye ve montaj hizmeti dahil edilmiştir. Maliyet tablosu izelge 8’ de gösterilmiştir. İşletme maliyeti izelge 9’da verilmiştir.

Çizelge 8. Çalışma yeri için iyon değiştirici sistem kurulum maliyeti

Malzeme Cinsi	Birim	Miktar	Birim fiyat	Toplam
Kum filtrasyon tankı	Adet	1	11.000 \$	11.000 \$
Reçine tankı	Adet	3	4.740 \$	14.220 \$
Reçine	kg	3780	20,54 \$	77.641 \$
Valf	Adet	3	13.670 \$	41.010 \$
Genel Toplam				143.871 \$

Çizelge 9. İşletme Maliyeti (Aylık)

Parametre	Miktar	Maliyet
Tuz, kg	1.610	388 \$
Su, L	39.000	13,5 \$
Elektrik, kw	200	30 \$

Bu çalışmada yer altı su kaynağı olarak özelde Şanlıurfa merkeze bağlı Yığınak kırsal mahallesi kuyu suyu kullanılmıştır. İyon değiştirici reçine olarak Purolite A 520E kullanılarak nitrat değeri 125 mg/L olan suyun nitrat giderimi için tesis tasarımı araştırılmıştır. Yapılan çalışmalarda iyon değiştirici reçinenin nitrat giderme etkisinin yüksek olduğu tespiti yapılmış, doğru bir işletim ile sınır değerlerin oldukça altında temiz içme suyunun elde edilebileceği görülmüştür. İşletim zorluğu fazla olmasa da kırsal mahallelerde bu tip işletme gideri yüksek sistemlerin işletimi birtakım sıkıntılara yol açabilmektedir. Kırsal mahallede içme ve kullanma suyu haricinde tarım ve hayvancılık faaliyetleri için de su gereklidir. Bu amaçla bu sistemden çıkan suyun kullanılması sistemin yeterli kalmaması ve işletme maliyetlerinin yüksek çıkması sonuçlarını doğuracaktır. Bu amaçla amaç dışı kullanımın önüne geçmek için kuyu ve kuyu odası güvenliğinin sağlanması, depo ve şebeke kontrollerinin düzenli yapılması önem arz etmektedir. Rejenerasyon gerekliliği süresi, sistemin bir süre kullanımdan ve analizler ile kontrolleri sonrası ortaya çıkacağı (mevsimsel debi değişimini göz önüne alarak) düşünülürse, sistemin belirli zaman dilimlerinde otomatik rejenerasyon yapabilir şekilde dizayn edilmesi işletim açısından kolaylık sağlayacaktır.

Kaynaklar

- [1] Kahraman N., Karabulut B.Y., Atasoy A.D., Yeşilnacar M.İ. Harran Ovası Serbest Akiferinde Yaz ve Kış Dönemleri Nitrat Kirliliğinin Araştırılması. Harran Üniversitesi. Şanlıurfa 2016
- [2] Sağlık Bakanlığı. İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik. 2005/25730
- [3] Wild, A. Nitrate in drinking water: health hazard unlikely. Nature, 1977; 268, 197-198.
- [4] Croll. B. T. and Hayes. C. R. Nitrate and water supplies in the United Kingdom. Envir. Pollution. 1988; 50.163-187.
- [5] Terblanche, A. P. S. Health hazards of nitrate in drinking water. Water SA, 1991; 17 (1), 77-82.
- [6] Bouchard. D. C. Williams, M. K. and Surampalli. R Y. Nitrate contamination of groundwater: sources and potential health effects. J. AWWA. 1992; 84 (9). 85-90.
- [7] Weyer, P, (2011). Nitrate in Drinking Water and Human Health, Center for Health Effects Environmental Contamination, J Water Supply: Res Technol, 2002; 51, 415-48.

- [8] Servi, K. Elazığ bölgesinde tüketime sunulan et ve süt ürünlerinde nitrat ve nitrit düzeylerinin belirlenmesi, Doktora tezi. Fırat Üniversitesi.Elâzığ 1991.
- [9] A. Cemile. İçme Suyundaki Nitrat Konsantrasyonunun İnsan Sağlığı Üzerine Oluşturduğu Risklerin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi. Hacettepe Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Ankara 2013.
- [10] Arbuckle, T.E., Sherman, G. J., Corey, P.N., Walters, D., Lo, B., Water nitrates and CNS birth defects: a population-based case-control study, Arch Environ Health. 1988; 43, 162-167.
- [11] Bouwer, E. J. and Crowe, P. B. Biological process in drinking water. 1988; J. AWWA, 80 (9). 82-93.
- [12] Rittmann, B. E. and Huck, P. M. Biological treatment of public water. CRC Critical Rev. Envir. Control, 1989; 19 (2), 119-184.
- [13] Gayle. B. P. Boardman. G. D. Sherreard, J. H. and Benoit. R. E. Biological denitrification of water. J. Envir. Engrg., ASCE 1989; 115 (5). 930-943.
- [14] Mateju, V., Cizinska, S., Krejci, J., and Janoch, T. Biological water denitrification-a review. Enzyme Microbiol Technol. 1992; 14, 170-183.
- [15] Sova, R. J. The chemical removal of nitrate from water supplies using ferrous sulfates and pickle liquor, MS thesis, Lincoln: Univ. of Nebraska at Lincoln 1986.
- [16] Guter, G. A. Removal of nitrate from contaminated water supplies for public use. EPA-600/S2-82-042. U.S. Envir. Protection Agency (EPA). Cincinnati, Ohio 1982.
- [17] Miquel, A. E, and Oldani, M. A newly developed process for nitrate removal from drinking water. Nitrate contamination: exposure, 380/Journal of Environmental Engineering .1997
- [18] Bergquist Allison M., Choe, Jong K., Strathmann, Timothy J., Werth, Charles J. Evaluation of a hybrid ion exchange-catalyst treatment technology for nitrate removal from drinking water. Urbana: University of Illinois at Urbana-Champaign 2016.
- [19] Samatya S., Kabay N., Yüksel U., Arda M., ve Yüksel M. Removal of nitrate from aqueous solution by nitrate selective ion exchange resins Master thesis. Ege University.İzmir 2006.
- [20] Bhatnagar, A. and Sillanpaa, M. A review of emerging adsorbents for nitrate removal from water. Chemical Engineering Journal 2011; 168: 493–504.
- [21] Sorg, T. J. Treatment technology to meet the interim primary drinking water regulations for inorganics. J. AWWA 1978; 70 (2), 105.
- [22] Ali Akbar Hekmatzadeh, Ayoob Karimi-Jashni b, Naser Talebbeydokhti. Bjorn Klove d. Adsorption kinetics of nitrate ions on ion exchange resin, a Department of Civil and Environmental Engineering, Shiraz University İran 2013.
- [23] Benek. S. Şanlıurfa İli'nin tarımsal yapısı, sorunları ve çözüm önerileri. Coğrafı Bilimler Dergisi 2006; 4(1):67-91.
- [24] İl Sağlık Müdürlüğu su verileri, Şanlıurfa 2021
- [25] Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) 2019
- [26] Wachinski, A. M. Fundamental Principles and Concepts of Ion Exchange. In Environmental Ion Exchange. 2016

ORTA YÜKSEKLİKTEKİ BİNALAR İÇİN TBDY 2018 YÖNETMELİĞİNDE VERİLEN TAŞIYICI SİSTEM TİPLERİNİN DOĞRUSAL ANALİZ YÖNTEMİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI

İsmail ÜNSAL^{1*}, Nurullah BALCA², Mehmet Fatih ŞAHAN³

^{1,3}Adiyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adiyaman, 02040, Türkiye

²Adiyaman Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Adiyaman, 02040, Türkiye

Geliş Tarihi/Received Date: 25.03.2022 Kabul Tarihi/Accepted Date: 16.05.2022 DOI: 10.54365/adyumbd.1093363

ÖZET

Bu çalışmada, ülkemizde yapılabilecek 14 katlı betonarme bir konut binası için deprem yönetmeliğinde verilen tasarıma esas olabilecek taşıyıcı sistem türleri karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir. Süneklik düzeyi yüksek olan salt çerçevesel, salt perdeli ve plandaki perde oranı düşük ve yüksek olan iki adet çerçevesel-perdeli model tasarlanmıştır. Bunlara ilaveten beşinci model olarak süneklik düzeyi karma çerçevesel-perdeli bir taşıyıcı sistem modeli tasarlanmıştır. Deprem yönetmeliğimizde belirtildiği şekilde dayanıma göre tasarım yaklaşımı ile doğrusal analizler yapılmıştır. Modeller arasında taban kesme kuvveti ve tepe deplasmanı dağılımları karşılaştırılmıştır. Her iki büyüklük için de dağılımların çok büyük oranda 1/R ilişkisine benzer şekilde gerçekleştiği görülmüştür. Çalışma kapsamındaki modeller arasında perde oranı arttıkça maksimum deprem deplasmanları artış göstermiştir. Zemin katlardaki hasar durumuna göre, en fazla hasar salt çerçevesel modelde, en az hasar ise salt perdeli modelde gözlenmiştir. En düşük maliyet salt perdeli model için hesaplanmış olup bu model salt çerçevesel modelin kaba yapı maliyetinden yaklaşık olarak %5 daha ekonomiktir.

Anahtar Kelimeler: TBDY 2018, Betonarme Taşıyıcı Sistemler, Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı, Deprem

COMPARISON OF STRUCTURAL SYSTEM TYPES GIVEN IN TBEC 2018 CODE FOR MID-RISE BUILDINGS WITH LINEAR ANALYSIS METHOD

ABSTRACT

In this study, the types of structural systems that can be the basis for the design given in the earthquake code for a 14-story reinforced concrete residential building that can be built in our country are examined comparatively. A high ductility level of models is designed, which comprised of frames only, of walls only, and combinations of frames and walls one with a low wall ratio and the other with a high wall ratio in the plan. In addition, a fifth structural model -with a mixed ductility level- with the combinations of frames and walls is designed. Linear analyzes are carried out with the strength-based design approach as specified in our earthquake code. The base shear force and peak displacement distributions among the models are compared. It has been seen that the distributions for both parameters are very similar to the 1/R relationship. Maximum seismic displacements increased as the wall ratio in the plan increased, within the scope of the study. According to the damage status of ground floors, the maximum damage is observed for the model comprised of frames only, and the least damage is for the model comprised of walls only. The lowest cost is obtained for the model comprised of walls only, which is approximately 5% more economical than the construction cost of the model comprised of frames only.

Keywords: : TBEC 2018, Reinforced Concrete Structural Systems, Structural System Behavior Factor, Earthquake

* e-posta¹ : junsal@adiyaman.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6324-7209> (Sorumlu Yazar)

e-posta² : nurullah.balca1@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6886-9595>

e-posta³ : mfs@adiyaman.edu.tr ORCID ID <https://orcid.org/0000-0002-3334-3945>

1. Giriş

Depreme dayanıklı yapıların tasarımı ve inşa edilmesi, mevcut yapıların deprem güvenliğinin incelenmesi ve gerekli durumlarda güçlendirilmesi konuları ülkemiz için halen hayati önemini koruyan hususlardır [1]. 24 Ocak 2020 tarihinde Elazığ'da ($M_w=6.8$) ve 30 Ekim 2020 tarihinde İzmir'de ($M_w=6.6$) yaşadığımız depremler geçmişte tecrübe ettiğimiz gibi büyük kayıplara neden olmuş ve konunun önemini gündemde tutmaya devam etmiştir. Gerek Elazığ'da gerekse İzmir'de bulunan ivme ölçüm istasyonlarının kayıtlarına ait spektral ivme değerleri, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY-2007) [2] ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'in (TBDY - 2018) [3] tasarım ivme spektrumları ile karşılaştırmış ve bu istasyonlarda alınan kayıtların her iki tasarım spektrumunun da altında kaldığı görülmüştür [4, 5]. Buna rağmen yaşanan can ve mal kayıpları; yapı ve deprem mühendisliği, geoteknik deprem mühendisliği, afet yönetimi alanlarında ulaşılmış olan akademik bilgi seviyesinin uygulamaya ve günlük hayata yansıtılması konularında hala kat etmemiz gereken uzun bir yol olduğunu göstermektedir. Bu alandaki yönetmeliklerin ve mevzuatta yapılan değişikliklerin proje ve saha uygulamalarında sorumluluk alan mühendislerce iyi anlaşılması ve uygulamaya yansıtılabilmesi, belirli bir kalite standardında mühendislik hizmetini ülke geneline yayabilmek ve depreme dayanıklı yapıları garanti edebilecek bir mekanizma oluşturabilmek adına son derece önemlidir [1].

Depreme dayanıklı yapıların tasarımı için en önemli başucu kaynaklarından olan TBDY-2018 yönetmeliğinin anlaşılması ve uygulanmasına yönelik olarak literatürde çeşitli çalışmalar mevcuttur. Şahan [6] çalışmasında Türk Deprem Yönetmeliği (TDY-1998) ile ABD (UBC-1997) ve Avrupa Deprem Yönetmeliklerini (Eurocode-8-1994) karşılaştırmalı olarak incelemiştir. Farklı bina modelleri üzerinde yaptığı analizlerle, bina tabanında deprem etkisinde meydana gelen taban kesme kuvvetlerini her üç yönetmeliğe göre de hesaplayarak karşılaştırmalar yapmıştır. Eşdeğer Deprem Yüku Yöntemini esas alarak yaptığı çalışmalar neticesinde ortak bir deprem yönetmeliğinin oluşturulmasının mümkün olabileceği hususunu vurgulamıştır.

Öncel ve ark. [7] deprem parametrelerinin yapı yüksekliğine bağlı olarak değişimini incelemişlerdir. Yapı yüksekliğinin deprem davranışına etkisi TBDY-2018 yönetmeliğine göre ETABS programı yardımıyla tepki spektrumu kullanılarak irdelenmiştir. Farklı deprem lokasyonları esas alınarak elde edilen analiz sonuçları, yapılarda kat adedine bağlı olarak yükseklik 15.5 metreden 90.5 metreye kadar artarken taban kesme kuvvetinin önemli oranda azaldığını göstermiştir. Bu sonucun elde edilmesinde, yönetmelikte verilen yatay elastik tasarım ivme spektrum fonksiyonlarının önemli rol oynadığı belirtilmiştir.

Ünsal ve ark. [8], yapıdaki kat adedine bağlı olarak bina yüksekliğinin, taban kesme kuvvetine ve maksimum tepe deplasmanına etkisini 2007 ve 2018 deprem yönetmelikleri kapsamında irdelenmişlerdir. Betonarme çerçeve ve perdelerden oluşan bir bina modelini ETABS programında, 5 kat ila 30 kat arasında değişen 26 farklı şekilde oluşturularak taban kesme kuvvetlerini ve tepe deplasmanlarını hesaplamışlardır. Analizler neticesinde, DBYBHY-2007 yönetmeliğine göre taban kesme kuvvetlerinin, yapı yüksekliği arttıkça yaklaşık olarak sabit değerde kaldığını, TBDY-2018 yönetmeliğine göre ise yapı yüksekliği arttıkça taban kesme kuvvetlerinin doğrusal olarak azaldığını gözlemlemişlerdir.

Ünsal ve Şahan [9], betonarme çerçeve bir taşıyıcı sistem modeli ile taşıyıcı sistemi sadece perdelerden oluşan farklı bir taşıyıcı sistemi kaba yapı maliyeti ve deprem performansı yönüyle karşılaştırmalı olarak irdelenmişlerdir. 18 katlı bu iki model üzerinden yapılan karşılaştırmada perdeli modelin az farkla daha ekonomik tarafta kaldığını gözlemlemişlerdir. Çok modlu itme analizleriyle yapılan performans hesaplarında zemin kattaki hasar durumu dikkate alındığında yine perdeli modelin deprem performansının daha iyi olduğu gözlenmiştir.

Doğan ve ark. [10] perde oranı az olan perdeli-çerçeve sistemlerde, konsol perde davranışıyla çerçeve davranışı arasındaki uyumsuzluğunun giderilmesi ve binanın perde duvar davranışı

gösterebilmesi için, bir kattaki perde alanının tüm katların alanına oranının minimum değeri tespit edilmeye çalışılmıştır. Perdelerin ön tasarımı aşamasında, donatı artış oranına bağlı olarak bina maliyetindeki artış ve perde-çerçeve davranış uyumluluğu dikkate alınmıştır. 5 katlı 10 adet model SAP2000 ve STA4Cad yazılımları ile analiz edilmiştir. Perde oranı az olan bu sistemlerde taşıyıcı sistem davranışına perdelerin yön verilmesi amacıyla geliştirilen modellerin analizleri sonucunda, perdelerin deprem etkilerinin %75'ini karşılaması için, $R_2=0.9903$ regresyonla tüm katların alanına bağlı perde alanı oranı %0.438 olarak tespit edilmiştir.

Çapa ve ark. [11] deprem yönetmeliklerinde verilen doğrusal hesap yöntemlerinde deprem yüklerinin, yapının elastik ötesi bölgede tüketeceği enerji kapasitesine bağlı olarak azaltıldığını ve bu azaltmanın farklı yükseklikteki yapılar için aynı oranda yapıldığını belirtmişler ve bu analiz yöntemlerinin, genel olarak yapıların kontrollü hasar performansı için aynı seviyede in-elastik davranış yaptığını kabul etmesinden yola çıkarak, bu kabulün geçerliliğini farklı kat adedine (üç, beş ve yedi katlı binalar) sahip bina modelleri üzerinde irdelenmişlerdir. Sayısal sonuçlar, doğrusal olmayan yük kapasitesinin azaltılmış deprem yüklerine oranının binadaki kat adedine bağlı olduğunu göstermiştir. Az katlı binaların, orta katlı binalara kıyasla, azaltılmış eşdeğer deprem yüklerine göre nispeten daha büyük yatay yük taşıma kapasitesine sahip oldukları belirtilerek deprem yönetmeliklerinin ise deprem yükü azaltma katsayısını belirlerken bu katsayının ilişkili olduğu kat adetlerini dikkate almadığı vurgulanmıştır.

Ülkemizde 10-15 katlı konut binaları yaygın olarak inşa edilmektedir. Bu çalışmada 14 katlı betonarme bir konut binası için deprem yönetmeliğinde tasarıma esas olabilecek taşıyıcı sistem türleri karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir. Yönetmelikte Bölüm 4, Tablo 4.1'de taşıyıcı sistemin perde içerip içermediğine ve süneklik düzeyine bağlı olarak bina yüksekliklerine üst sınır getirilmiştir. Deprem ivmelerinin yüksek olduğu bölgelerde (DTS=1-2) süneklik düzeyi yüksek binaların perde içerip içermediğine bağlı olarak bu sınır sırasıyla 70 metre ve 56 metre olarak belirlenmiştir. Süneklik düzeyi karma olan kirişli plak döşemeli sistemler için ise bu yükseklik 42 metre ile sınırlandırılmıştır. Bu çalışmada yüksekliği 41 metre olan, bodrum, zemin, 11 normal kat ve asansör makine daire katından oluşan bir konut binası için yönetmelikte verilen 5 farklı taşıyıcı sistem modeli hazırlanmıştır. Yapılan deprem analizlerinde modeller deprem performansı ve kaba yapı maliyetleri açısından karşılaştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada, bodrum kat ve asansör dairesi katı dahil olmak üzere 14 katlı konut türü bir bina ele alınmış olup bina, deprem yönetmeliğinde önerilen süneklik düzeyi yüksek ve karma taşıyıcı sistemler esas alınarak 5 farklı şekilde modellenmiştir. Deprem yönetmeliğinin 4. Bölümünde Tablo 4.1'de verilen A11 (süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçevesiz sistem), A13 (süneklik düzeyi yüksek betonarme boşluksuz perdeli sistem), A15 (süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçevesiz ve perdeli sistem) ve A22 (süneklik düzeyi karma betonarme çerçevesiz ve perdeli sistem) esas alınmıştır. Salt perdeli sistem olan A13 taşıyıcı sisteminde toplam perde alanının kat alanına oranı X ve Y yönleri için yaklaşık olarak 0.017'dir. A15 sistemi, toplam perde alanının kat alanına oranı (X ve Y yönlerinin her ikisi için de) yaklaşık olarak 0.007 ve 0.012 olmak üzere iki farklı şekilde (A15_1 ve A15_2) modellenmiştir. A15_2 modelinden taşıyıcı sistem davranış katsayısı değeri ($R=4$) alınarak süneklik düzeyi karma olan A22_2 sistemi türetilmiştir. Deprem yönetmeliği gereğince A22 türü taşıyıcı sistemlerde perdelerin, binanın tabanında oluşacak toplam devrilme momentinin en az %75'ini karşılaması gerekmektedir. Bu çalışmada ele alınan A22_2 modelinde bu oran için %63'ün üzerine mimari nedenlerle çıkılamamış olup ele alınan diğer taşıyıcı sistemlerle karşılaştırılmak üzere çalışmada bu modele de yer verilmiştir.

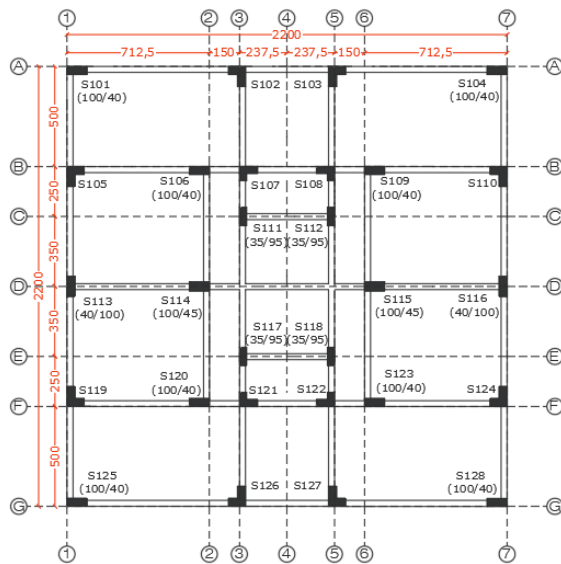
Ele alınan tüm modellerde bodrum kat rijitliği sağlanmış olup bina yükseklikleri, deprem yönetmeliğinde A22 sistemleri için verilen $BYS \geq 4$ (DTS-1 ve DTS-2 için 42 metre) şartını sağlamak üzere bodrum perdelerinin üst kotundaki kat döşemesi seviyesinden itibaren 41 metre olarak tasarlanmıştır. Modellerde normal kat alanı yaklaşık 484 m² olup kat ağırlıkları ve kat yükseklikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Bina kullanım sınıfı ve bina önem katsayısı sırasıyla BKS=3 ve I=1 olarak alınmıştır. ZD zemin sınıfı için S_{DS} (kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı) değeri AFAD (Afet ve Acil Durum Yönetimi) Başkanlığı'nın yayınladığı Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması üzerinden [12] 0.785 olarak elde edilmiştir. Bu ivme değeri Adıyaman Üniversitesi merkez yerleşkesi içerisindeki bir lokasyon için elde edilmiş olup deprem tasarım sınıfı olarak DTS=1 değerine karşılık gelmektedir.

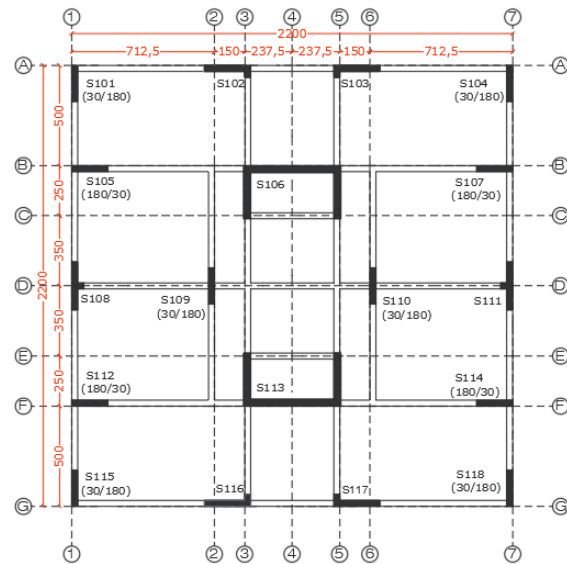
Depreme dayanıklı yapı tasarımı için pek çok yazılım kullanılabilir [9-11, 13-18]. Bu çalışmada taşıyıcı sistem tiplerini karşılaştırmak üzere STA4-CAD bilgisayar programında [19] beş farklı model hazırlanmıştır. Modellere ait kat planları Şekil 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Modellerin ağırlık bilgileri ve kat yükseklikleri.

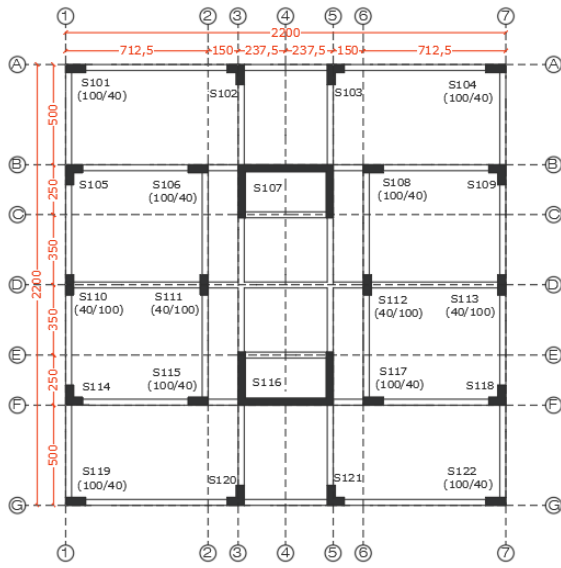
Kat	Yükseklik (metre)	Ağırlık (ton)				
		A11 Salt Çerçevesel Model	A13 Salt Perdeli Model	A15_1 Çerçevesel ve Perdeli Model	A15_2 Çerçevesel ve Perdeli Model	A22_2 Çerçevesel ve Perdeli Model
Bodrum Kat	3.5	734.09	715.78	755.36	741.33	743.58
Zemin Kat	3.5	553.51	570.35	576.04	570.62	572.04
1. Normal Kat	3.2	544.10	558.3	563.87	558.95	558.58
2-10. Normal Katlar	3.2	544.10	558.3	563.87	558.95	557.32
11. Normal Kat	3.2	495.77	506.96	517.53	509.29	509.29
12. Asansör Dairesi	2.3	52.83	69.04	69.33	69.33	69.33
TOPLAM		7277.14	7445.10	7556.97	7480.03	7468.71



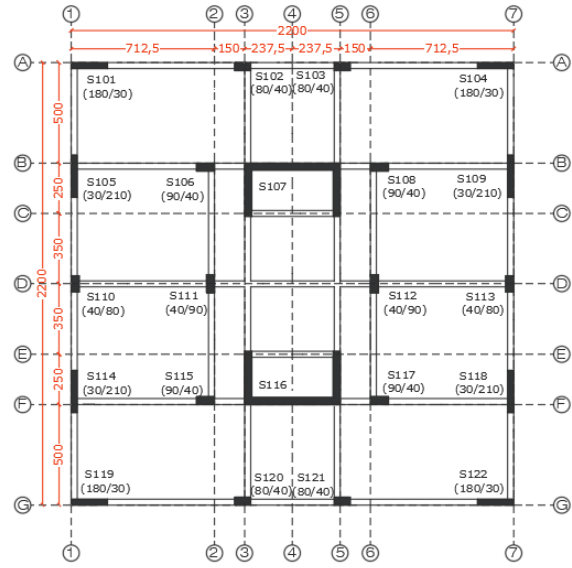
a) A11 kalıp planı



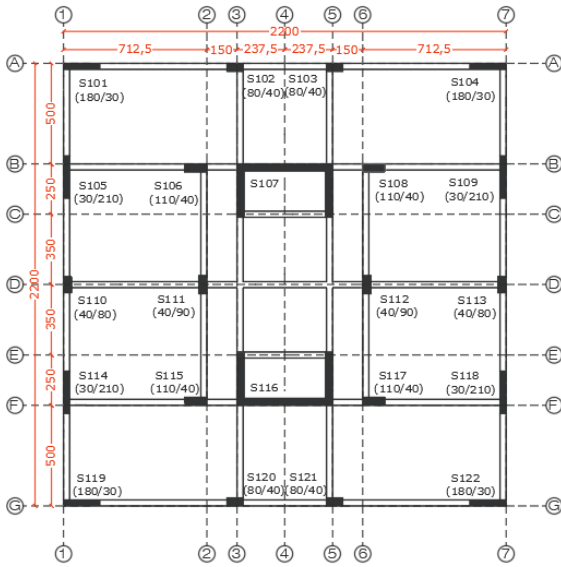
b) A13 kalıp planı



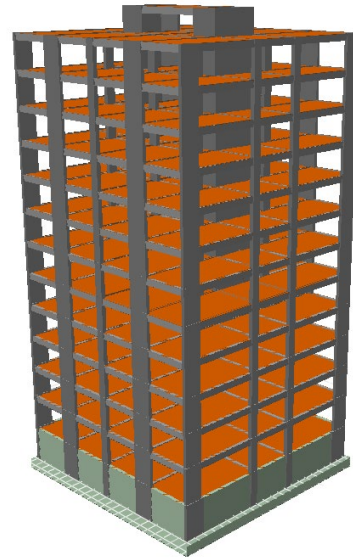
c) A15_1 kalıp planı



d) A15_2 kalıp planı



e) A22_2 kalıp planı



f) A22_2 perspektif görünüşü

Şekil 1. Modellerin normal kat kalıp planı ve perspektif görselleri

Ön tasarım aşamasında kolon ve perdelerin enkesit ölçüleri belirlenirken TS 500'de [20] ve TBDY-2018'de verilen maksimum aksenal yük düzeyi kriterleri dikkate alınmıştır. Bu kriter TS 500'de Denklem 1'de verilen bağıntı ile sağlanmaktadır. Burada N_d artırılmış düşey yüklerin etkisi altında hesaplanan tasarım aksenal kuvvetidir. f_{cd} betonun tasarım basınç dayanımı ve A_c ise elemanın tüm kesit beton alanıdır. Deprem yönetmeliğinde ise kolonlar ve perdeler için bu kriterler sırasıyla Denklem 2 ve Denklem 3'te verilmiştir. Burada N_{dm} , düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan aksenal basınç kuvvetlerinin en büyüğü ve f_{ck} betonun karakteristik silindirik basınç dayanımıdır. Modellerde planda ve düşeyde herhangi bir düzensizlik bulunmamaktadır. Her bir modelde düşey elemanlar simetrik olarak yerleştirilmiş olup X ve Y yönlerinde benzer yanıl öteleme rijitliğini sağlanmaya çalışılmıştır.

$$N_d \leq 0,9 f_{cd} A_c \quad (1)$$

$$A_c \geq N_{dm} / (0.40 f_{ck}) \quad (2)$$

$$A_c \geq N_{dm} / (0.35 f_{ck}) \quad (3)$$

Perdeli modellerde (A13, A15_1, A15_2 ve A22_2), deprem yönetmeliğinin 4.3.2.4. maddesini sağlamak üzere her bir perdenin alacağı taban devrilme momenti, bina tabanında ilgili doğrultuda oluşacak toplam devrilme momentinin 1/3'ünün altında tutulmuştur. Perdeli modellerin ön tasarım aşamalarında elde edilen bu oranlar X ve Y yönleri için Çizelge 2'de verilmiştir. Yönetmeliğin bu maddesinden, depreme dayanıklı yapı tasarımında büyük enkesite sahip az sayıda perde yerine daha küçük enkesite sahip olan çok sayıda perdenin kullanılmasının teşvik edildiği anlaşılmaktadır. Az sayıda büyük kesitli perde kullanıldığında, yatay deprem kuvvetlerini üzerine alması beklenen perdelerden herhangi birisinin devreden çıkması durumunda yapının gerek deprem davranışının ve gerekse hasar durumunun kontrolden çıkabileceği kaygısı ile böyle bir düzenlemeye gidilmiş olabileceği düşünülmektedir. Deprem yönetmeliğinde ayrıca, deprem etkisinde binanın tamamında oluşan taban devrilme momentinin 1/6'sından fazlasının kenar akslardaki perdeler tarafından karşılanması istenmektedir. Perdeli modellerde bu koşul mimari nedenlerle sağlanamamıştır. Ön tasarım aşamasında yapılan deneme analizlerinden, bu koşulu sağlayabilmek için kenar akslarda oldukça büyük en kesitlere sahip betonarme perdeler ihtiyacı olduğu anlaşılmıştır. Yönetmelik böyle bir durumda taşıyıcı sistem davranış katsayısının 4/5 oranında azaltılarak yapıya etkiyen deprem kuvvetlerinin büyütülmesini istemektedir. Bu nedenle tüm perdeli modellerde R değeri 4/5 oranında azaltılarak analizlere dahil edilmiş olup R değerleri; A11 için 8, A13 için 4.8, A15_1 ve A15_2 için 5.6 ve A22_2 için 4 olarak esas alınmıştır. Dayanım fazlalığı katsayısı yönetmeliğe uygun şekilde A11 sistemi için 3, diğer modeller için ise 2.5 olarak dikkate alınmıştır. Tüm modellerde radye temel kalınlığı 100 cm olup çalışmada asıl amacın yönetmelikte verilen üstyapı modellerini kıyaslamak olması nedeniyle analizler, yapı – temel ayrı statik şekilde yürütülmüştür. Tüm modeller Sonlu Elemanlar Yöntemi ile analiz edilmiştir.

Çizelge 2. En büyük perde taban momentinin toplam taban devrilme momentine oranı.

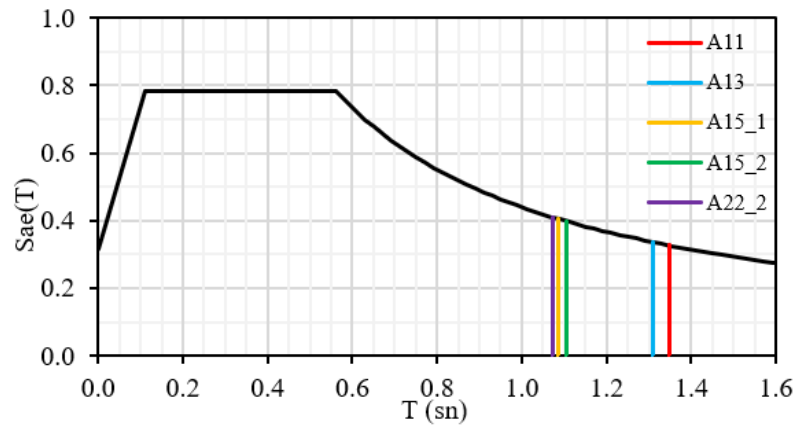
	En büyük perde taban momenti / Toplam taban devrilme momenti				
	A11	A13	A15_1	A15_2	A22_2
X Yönü	-	0.302	0.295	0.309	0.305
Y Yönü	-	0.224	0.187	0.187	0.186

3. Bulgular ve Tartışma

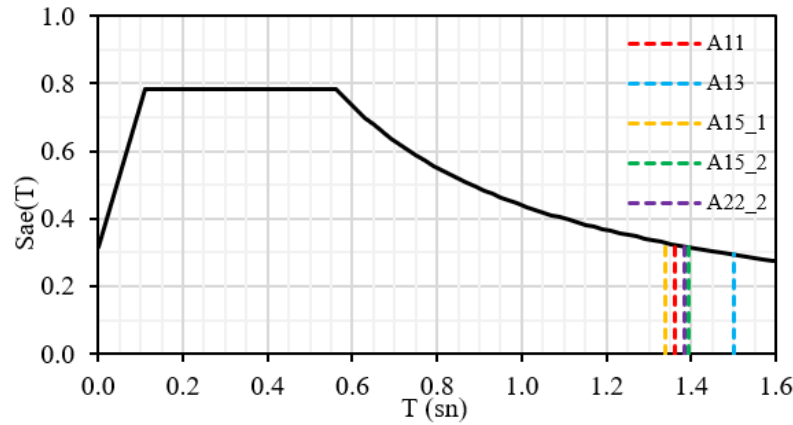
Taşıyıcı sistem modelleri için elde edilen hakim doğal titreşim periyotları ile kütle katılım oranları, taban kesme kuvvetleri ve bina ağırlığına oranları Çizelge 3'te verilmiştir. Ayrıca AFAD'tan ivme değerleri alınan ilgili parsel için yatay elastik tasarım ivme spektrum grafiği hazırlanarak Şekil 2'de doğal titreşim periyotları ile birlikte verilmiştir. Böylece taşıyıcı sistemlerin ilgili yönlerdeki doğal titreşim periyotlarına bağlı olarak deprem etkisinden alacakları ivme büyüklükleri spektrum grafiğinden karşılaştırılabilir olarak görülebilmektedir [21].

Çizelge 3. Doğal titreşim periyotları, taban kesme kuvvetleri ve R katsayıları.

Karşılaştırılan Büyüklükler	A11	A13	A15_1	A15_2	A22_2
Doğal Titreşim Periyodu (T_x)	1.35 s	1.31 s	1.03 s	1.10 s	1.07 s
Kütle Katılım Oranı (M_{xr})	%72.5	%66.9	%69.2	%68.2	%65.6
Doğal Titreşim Periyodu (T_y)	1.36 s	1.49 s	1.34 s	1.39 s	1.39 s
Kütle Katılım Oranı (M_{yr})	%72.6	%70.2	%71.5	%70.7	%70.7
Taban Kesme Kuvveti ($V_{te}^{(X)}$) (ton)	240.45	436.30	460.1	436.3	599.5
Taban Kesme Kuvveti ($V_{te}^{(Y)}$) (ton)	238.66	374.77	358.7	345.4	473.6
$(V_{te}^{(X)})$ /Bina Ağırlığı Oranı	3.3%	5.9%	6.1%	5.8%	8.0%
$(V_{te}^{(Y)})$ /Bina Ağırlığı Oranı	3.3%	5.0%	4.7%	4.6%	6.3%



a) X yönünde doğal titreşim periyotları



b) Y yönünde doğal titreşim periyotları

Şekil 2. Yatay elastik tasarım ivme spektrum grafiği ve doğal titreşim periyotları

Modeller arasında salt perdeli sistem olan A13 sisteminde Y yönündeki doğal titreşim periyodu ($T_y=1.49$ s) yönetmelikte üst sınır olarak verilen ampirik hâkim doğal titreşim periyodunu (T_{pA}) aşmıştır ve 1.49 s değeri yerine hesaplarda 1.42 s kullanılmıştır. Diğer tüm modellerin her iki yönde elde edilen periyot değerleri bu sınırın altındadır. Yapıların periyodu genel formda Denklem 4’te verilen bağıntı ile elde edilebilmektedir. Burada T periyot, m kütle ve k rijitliktir.

$$T=2\pi\sqrt{(m/k)} \quad (4)$$

Bağıntıdan görüleceği gibi periyod değeri (m) kütlesi ile doğru orantılı ve (k) rijitliği ile ters orantılı olup artan yapı rijitliğine karşılık doğal titreşim periyodunun azalması beklenmektedir. Doğal titreşim periyotlarını incelemek üzere salt çerçevesel A11 ile salt perdeli A13 sistemleri karşılaştırıldığında X yönünde eklenen perdelerin yapının rijitliğini az da olsa artırarak periyodu 1.35s'den 1.31s'ye düşürdüğü görülmektedir. Y yönünde ise durum tamamen farklı gelişmiş olup bu yönde eklenen perdelerle rağmen periyodun arttığı görülmektedir (1.36s'den 1.49s değerine). Bu durum DBYBHY-2007'ye göre beklenen mertebelerden oldukça farklıdır. Bu farklılık, TBDY 2018'de perdeler için verilen etkin kesit rijitlik çarpanlarının kolonlar için verilen etkin kesit rijitlik çarpanlarından daha düşük olması ile açıklanabilir. Elde edilen bu bulgular daha önceki çalışmalarla benzerlik arz etmektedir [9]. Periyodun X yönünde azalırken Y yönünde artması ise ilgili yöndeki atalet momentlerine bağlı olarak X yönünde eklenen 2 adet perdenin yatay ötelenme rijitliklerinin Y yönünde eklenen 4 adet perdenin toplam yatay ötelenme rijitliğinden daha yüksek olması ile ($I_x \sim 4.5 I_y$) açıklanabilir. Birbirlerine daha çok benzeyen A11 ve A15_1 sistemleri karşılaştırıldığında ise Y yönünde eklenen 4 adet perdeye rağmen bu yöndeki periyotların oldukça yakın çıktığı (sırası ile 1.36s ve 1.34s) görülmekte ve X yönünde eklenen perdelerin ise yapının rijitliğini artırarak periyodu 1.35s değerinden 1.03s değerine indirdiği gözlenmektedir. A15_1'e göre perde oranının daha yüksek olduğu A15_2 sistemine geçildiğinde ise X ve Y yönleri için elde edilen 1.10s ve 1.39s değerleri her iki yönde de periyotların arttığını göstermektedir. A22_ ile A15_2 sistemleri kalıp planı açısından oldukça benzer olup temel fark R katsayılarıdır. Bu nedenle bu iki modelde periyot değerleri için oldukça benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 3'te her bir taşıyıcı sistem modeli için elde edilen taban kesme kuvveti değerleri de verilmiştir. Binalara etkiyen deprem kuvvetleri yaklaşık olarak bina ağırlıklarının %3'ü ile %8'i arasında değişmektedir. En düşük değerler salt çerçevesel A11 modeli için $V_{tE}^{(X)}=240.45$ ton ve $V_{tE}^{(Y)}=238.66$ ton olarak elde edilirken, en yüksek yatay deprem kuvvetleri süneklik düzeyi karma olan A22_2 modeli için $V_{tE}^{(X)}=599.50$ ton ve $V_{tE}^{(Y)}=473.60$ ton olarak elde edilmiştir. Diğer perdeli modellerde de (A13, A15_1 ve A15_2) taban kesme kuvveti değerleri çerçevesel modele kıyasla 1.5 – 2 kata kadar artmış olup kendi aralarında kıyaslandıklarında ise birbirine yakın sonuçların elde edildiği görülmektedir. Perdelerin deprem etkilerini karşılama oranları DBYBHY-2007'de taban kesme kuvvetleri üzerinden hesaplanırken TBDY-2018'de perde taban momentleri üzerinden hesaplanmaktadır. A15_1 modelinde, deprem etkisinde perde tabanlarında oluşan moment, bina tabanında oluşacak toplam devrilme momentinin X yönü için %54'ü ve Y yönü için %37'si seviyelerindedir. A15_2 modelinde ise bu oranlar sırasıyla %65 ve %62 seviyelerindedir.

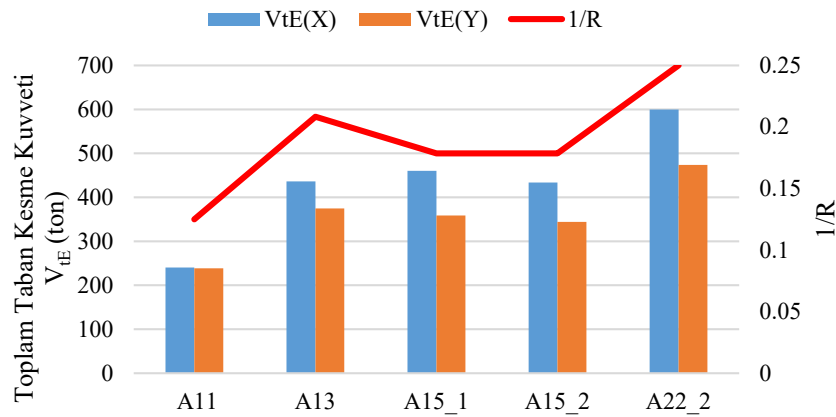
$$V_{tE}^{(X)} = m_t S_{aR}(T_p^{(X)}) \quad (5a)$$

$$S_{aR}(T) = S_{ae}(T)/R_a(T) \quad (5b)$$

$$R_a(T) = R/I \quad T > T_B \quad (5c)$$

Denklem 5'ten de anlaşılacağı üzere eşdeğer deprem yüklerinin hesabında bina kütlesi ve doğal titreşim periyotları önemli etkenler olsa da bu çalışmada elde edilen taban kesme kuvvetlerinin modeller arasında bu kadar değişmesindeki en önemli parametre taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R) olmuştur. Spektrum grafiğinden elde edilen deprem ivmeleri, yapının süneklik kapasitesine göre tüketebileceği deprem enerjisi dikkate alınarak konut türü binalar için R katsayısına bölünmek suretiyle önemli oranda azaltılmaktadır. Bu ters orantılı ilişkiye bağlı olarak taşıyıcı sistem davranış katsayısının taban kesme kuvvetleri üzerindeki etkisini göstermek üzere Şekil 3'teki grafik hazırlanmıştır. Özellikle Y yönündeki taban kesme kuvveti ($V_{tE}^{(Y)}$) değerlerinin 1/R grafiği ile olan benzerliği dikkat çekicidir.

Çizelge 4'te her modele ait görel kat ötelemeleri, ikinci mertebeye gösterge değerleri ve burulma düzensizliği katsayıları verilmiştir. Tüm modellerde burulma düzensizliği katsayısı yönetmelikte verilen 1.20 değerinin altında kalmaktadır. Benzer şekilde etkin görel kat ötelemeleri ve ikinci mertebeye göstergeleri tüm modellerde sınır değerinin altında olup bu durum modellerin yönetmelik kapsamında yeterli rijitliğe sahip olduğunu göstermektedir.



Şekil 3. R katsayısının taban kesme kuvvetleri üzerindeki etkisi

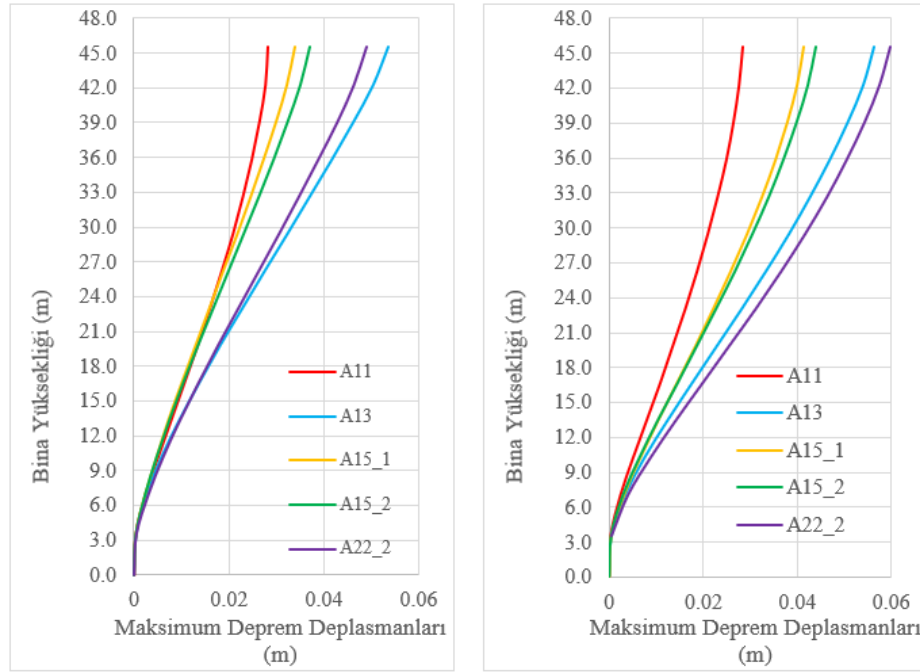
Çizelge 4. Göreli kat ötelemeleri, ikinci mertebe göstergeleri ve burulma düzensizliği katsayıları.

Karşılaştırılan Büyüklükler	A11	A13	A15_1	A15_2	A22_2
En Büyük Burulma Düzensizliği Katsayısı (η_{bi})	1.115	1.124	1.153	1.138	1.146
En Büyük Etkin Göreli Kat Ötelemesi Kontrolü ($\delta_{i,max}^{(X)}$)	0.0030	0.0030	0.0022	0.0024	0.0023
En Büyük Etkin Göreli Kat Ötelemesi Kontrolü ($\delta_{i,max}^{(Y)}$)	0.0030	0.0033	0.0029	0.0030	0.0029
En Büyük İkinci Mertebe Gösterge Kontrolü ($\theta_{II,max}^{(X,Y)}$)	0.023	0.026	0.021	0.023	0.022
	<0.090	<0.125	<0.107	<0.107	<0.150

Çizelge 5'te her model için hesaplanan maksimum deprem deplasmanları verilmiş olup Şekil 4'te bu değerler grafik halinde gösterilmiştir. Tüm modellerde en büyük tepe deplasmanları Y yönünde elde edilmiştir. Bu yöndeki periyotların büyük olması modellerin bu yöndeki rijitliklerinin X yönüne göre daha düşük olduğu anlamına gelebilir. Bu durum bu yönde daha büyük deplasmanlar olarak kendini göstermiştir. Modeller arasında en küçük tepe deplasmanları aynı zamanda en küçük taban kesme kuvvetlerine sahip olan salt çerçevesel A11 modeli için X yönünde 0.0284 ve Y yönünde 0.0286 m olarak elde edilmiştir. En büyük yer değiştirme değerleri ise X ve Y yönleri için sırasıyla 0.0537 m ve 0.0563 m olmak üzere A13, ve 0.0492 ve 0.0600 olmak üzere A22_2 sistemlerinde gözlenmiştir. Aslında çalışmada ele alınan 5 model arasında en büyük tepe deplasmanlarının en çok perde oranına sahip olan modellerde gözlenmesi ilgi çekicidir. Buradan yola çıkarak, çalışma kapsamındaki modeller arasında perde oranı arttıkça maksimum deprem deplasmanlarının artış gösterdiği söylenebilir. Salt çerçevesel sistemden yaklaşık 0.007 perde oranına (her iki yönde) sahip olan A15_1 modeline geçildiğinde tepe deplasmanları X ve Y yönleri için sırasıyla %20 ve %45 oranında artmıştır. 0.012 perde oranına sahip olan A15_2 modeline geçildiğinde ise bu artış sırasıyla %30 ve %53 olarak elde edilmiştir. Salt perdeli A13 modelinde ise bu artış sırasıyla %89 ve %97 olmuştur. Periyot hesabına benzer şekilde, etkin kesit rijitliği çarpanları etkisinin buradaki sonuçlara da yansıdığı söylenebilir. Diğer taraftan, A15_2 modelinden süneklik düzeyi karma olarak türetilen A22_2 modelinde ise tepe deplasmanındaki artışlar X yönü için %73 olurken Y yönü için %110'a ulaşmıştır. A15_2 sistemine kıyasla bu modelde çok büyük yer değiştirmelerin görülmesinde, R=4 katsayısının ve buna bağlı olarak yapının çok büyük yatay yüklerle ($V_{tE}^{(X)} = 599.5$ ton) yüklenmiş olmasının etkili olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, R katsayısının tepe deplasmanları üzerindeki etkisini vurgulamak üzere Şekil 5'de verilen grafik hazırlanmıştır.

Çizelge 5. Maksimum deprem deplasmanları.

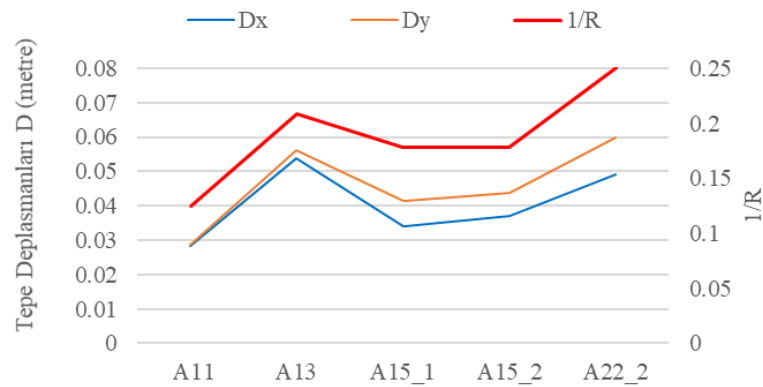
Kat	A11		A13		A15 1		A15 2		A22 2	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
12. Asansör D.	0.0284	0.0286	0.0537	0.0563	0.0339	0.0415	0.0370	0.0439	0.0492	0.0600
11. Normal Kat	0.0279	0.0278	0.0505	0.0540	0.0322	0.0401	0.0350	0.0422	0.0465	0.0577
10. Normal Kat	0.0266	0.0266	0.0463	0.0507	0.0299	0.0380	0.0323	0.0398	0.0430	0.0545
9. Normal Kat	0.0250	0.0251	0.0418	0.0469	0.0273	0.0355	0.0294	0.0370	0.0390	0.0507
8. Normal Kat	0.0231	0.0232	0.0371	0.0427	0.0246	0.0326	0.0263	0.0339	0.0349	0.0465
7. Normal Kat	0.0210	0.0211	0.0324	0.0382	0.0218	0.0294	0.0231	0.0304	0.0307	0.0418
6. Normal Kat	0.0186	0.0188	0.0276	0.0333	0.0188	0.0259	0.0199	0.0267	0.0264	0.0367
5. Normal Kat	0.0161	0.0163	0.0229	0.0282	0.0159	0.0222	0.0167	0.0227	0.0221	0.0313
4. Normal Kat	0.0135	0.0136	0.0182	0.0229	0.0130	0.0184	0.0135	0.0186	0.0178	0.0256
3. Normal Kat	0.0107	0.0109	0.0138	0.0176	0.0101	0.0144	0.0104	0.0145	0.0137	0.0199
2. Normal Kat	0.0079	0.0080	0.0096	0.0124	0.0073	0.0104	0.0075	0.0103	0.0098	0.0142
1. Normal Kat	0.0051	0.0051	0.0058	0.0075	0.0048	0.0066	0.0048	0.0064	0.0062	0.0088
Zemin Kat	0.0024	0.0024	0.0027	0.0034	0.0024	0.0031	0.0024	0.0029	0.0031	0.0040
Bodrum Kat	0.0003	0.0003	0.0004	0.0005	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0005	0.0005



a) X yönü

b) Y yönü

Şekil 4. Maksimum deprem deplasmanları



Şekil 5. R katsayısının tepe deplasmanları üzerindeki etkisi

Deprem yönetmeliğimizde konut türü yapılar için hedeflenen performans düzeyi Kontrollü Hasar (KH) seviyesidir. Bu performans düzeyi DD-2 deprem yer hareketi seviyesinde sağlanmalıdır. Tüm performans analizleri dayanıma göre tasarım (DGT) yaklaşımına uygun olarak doğrusal hesap yöntemi ile yapılmıştır. Elde edilen hasar durumları kolon ve perdeler için Çizelge 6’da kirişler için ise Çizelge 7’de verilmiştir. Binalarda genel olarak bodrum ve zemin katlarda eksenel yükler fazla olduğundan bu katlar düşey elemanların hasar durumu açısından kritik olmaktadır. Tüm modellerde zemin katlardaki düşey taşıyıcı elemanların hasar durumlarının bodrum katlara kıyasla daha kritik olduğu gözlenmiştir.

Çizelge 6. Performans analizi sonucunda düşey elemanlarda elde edilen hasar durumları.

Kolon - Perde Hasar Adetleri	A11			A13			A15_1			A15_2			A22_2		
	SH	BH	İH	SH	BH	İH	SH	BH	İH	SH	BH	İH	SH	BH	İH
Bodrum Kat	6	22	-	16	2	-	4	18	-	4	18	-	4	18	-
Zemin Kat	-	26	2	4	14	-	2	20	-	2	20	-	2	20	-
1. Normal Kat	-	24	4	12	6	-	2	20	-	8	14	-	10	12	-
2. Normal Kat	-	28	-	8	10	-	2	20	-	10	12	-	10	12	-
3. Normal Kat	-	28	-	8	10	-	4	18	-	10	12	-	10	12	-
4. Normal Kat	2	26	-	8	10	-	6	16	-	10	12	-	10	12	-
5. Normal Kat	4	24	-	8	10	-	6	16	-	10	12	-	10	12	-
6. Normal Kat	10	18	-	6	12	-	8	14	-	8	14	-	10	12	-
7. Normal Kat	10	18	-	2	16	-	10	12	-	8	14	-	10	12	-
8. Normal Kat	14	14	-	2	16	-	10	12	-	10	12	-	12	10	-
9. Normal Kat	5	23	-	6	12	-	10	12	-	12	10	-	14	8	-
10. Normal Kat	28	-	-	6	12	-	18	4	-	14	8	-	16	6	-
11. Normal Kat	28	-	-	6	12	-	18	4	-	10	12	-	14	8	-
12. Asansör D.	8	-	-	2	-	-	2	-	-	2	-	-	-	2	-

Çizelge 7. Performans analizi sonucunda kirişlerde elde edilen hasar durumları.

Kiriş Hasar Yüzdeleri	A11		A13		A15_1		A15_2		A22_2	
	SH %	BH %	SH %	BH %	SH %	BH %	SH %	BH %	SH %	BH %
Bodrum Kat	100	-	100	-	100	-	100	-	100	-
Zemin Kat	-	100	27	73	27	73	27	73	27	73
1. Normal Kat	-	100	7	93	7	93	7	93	7	93
2. Normal Kat	-	100	-	100	-	100	-	100	-	100
3. Normal Kat	-	100	-	100	-	100	-	100	-	100
4. Normal Kat	-	100	-	100	-	100	-	100	-	100
5. Normal Kat	-	100	-	100	-	100	-	100	-	100
6. Normal Kat	-	100	-	100	-	100	-	100	-	100
7. Normal Kat	-	100	-	100	-	100	-	100	-	100
8. Normal Kat	2	98	-	100	-	100	2	98	2	98
9. Normal Kat	2	98	-	100	-	100	2	98	2	98
10. Normal Kat	43	57	-	100	-	100	2	98	2	98
11. Normal Kat	100	-	7	93	7	93	2	98	2	98
12. Asansör D.	100	-	-	100	-	100	-	100	-	100

Deprem yönetmeliğinde tanımlanan sınırlı hasar (SH) seviyesinde plastik mafsallaşma söz konusu olmayıp, elemanın ilgili kesitinde sınırlı miktarda elastik ötesi davranış söz konusudur. Belirgin hasar (BH), kesit dayanımının güvenli olarak sağlanabileceği elastik ötesi davranışı tanımlamaktadır. İleri hasar (İH) durumu ise kesitte ileri düzeyde elastik ötesi davranışı tanımlamaktadır. Salt çerçeveli A11 modelinde bodrum katta kolonların sayıca yaklaşık %79’u belirgin hasar (BH) bölgesinde kalırken,

%21'i sınırlı hasar (SH) bölgesindedir. Zemin katta ise kolonların tamamı SH seviyesini geçerek %93 oranla BH ve %7 oranla İH bölgesinde kalmıştır. Beş model arasından sadece bu modelde ileri hasar (İH) bölgesine geçen düşey elemanlar bulunmuş olup bunlar, ikisi zemin katta ve dördü 1. Normal katta olmak üzere 6 adettir. Diğer modellerde İH düzeyine geçen kolon veya perde bulunmamaktadır. Salt perdeli A13 modelinde perdelerin BH ve SH durumları bodrum katta sırası ile %11 ve %89, zemin katta ise %78 ve %22'dir. A15_1, A15_2 ve A22_2 modellerinde düşey eleman hasarları birbirlerine oldukça benzer durumdadır. Bu modellerde bodrum katta BH bölgesine geçen düşey elemanların miktarı sayıca %82 olup diğer düşey elemanlar (%18) SH bölgesindedir. Zemin katlarda ise bu oran BH ve SH için sırasıyla %91 ile %9'dur. Çizelge 7'de kiriş hasarları incelendiğinde, A11 modelinde zemin kat kirişlerinin tamamı BH bölgesinde kalırken diğer modellerde bu katlardaki kirişlerin SH ve BH dağılımları sırayla %27 ve %73 olarak tespit edilmiştir. Tüm modellerde normal katlara geçildiğinde kirişlerin tamamına yakınının BH bölgesinde kaldığı söylenebilir.

Çizelge 8 ve 9'da modeller için temel hariç olmak üzere hesaplanan donatı, C35/45 hazır beton ve kalıp metrajları verilmiştir. STA4CAD programından alınan verilere göre en yüksek donatı miktarları salt çerçevesi olan A11 ve perde oranının en düşük olduğu A15_1 modelleri için sırasıyla 205,528 kg ve 207,186 kg olarak elde edilmiştir. En düşük donatı metrajı ise salt perdeli olan A13 modeli için 170,806 kg olarak hesaplanmıştır. Bu taşıyıcı sistem modeli tamamen perdelerden oluştuğu için deprem yönetmeliğinin 7.6.3.2. maddesi gereği perdelerin boyuna ve enine gövde donatısı porsantajları 0.002'ye düşürülmüş (diğer perdeli modellerde porsantaj oranı 0.0025) ve donatı metrajı yaklaşık 6,000 kg kadar azalmıştır. En düşük etriye ve çiroz işçiliği A13 modeli için beklenmekte olup diğer modellerde etriye ve çiroz metrajları birbirine yakın çıkmıştır.

Çizelge 8. Kaba yapı metrajları.

İş Kalemleri	A11	A13	A15_1	A15_2	A22_2
Betonarme İnce Demiri 8-12 mm (kg)	122,954	113,309	126,342	129,209	124,811
Betonarme Kalın Demiri 14-28 mm (kg)	82,571	57,497	80,845	63,964	71,601
C35/45 Hazır Beton (m ³)	1,937	2,072	2,070	2,033	2,036
Düz Yüzeyle Bet. Kalıbı (m ²)	12,197	13,205	12,750	12,796	12,813

Çizelge 9. Donatı metrajları

İş Kalemleri	A11	A13	A15_1	A15_2	A22_2
Etriye ve Çiroz İmalatları (kg)	63,689	40,533	64,563	61,998	59,103
Betonarme İnce Demir 8-12 mm (kg)	122,954	113,309	126,342	129,209	124,811
Betonarme Kalın Demiri 14-28 mm (kg)	82,571	57,497	80,845	63,964	71,601
TOPLAM	205,528	170,806	207,186	193,173	196,411

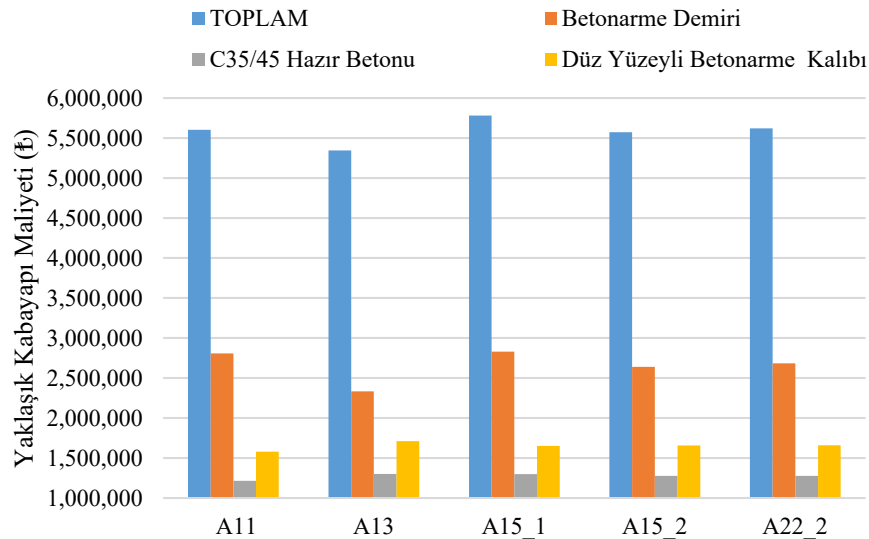
Kaba yapı maliyeti için en önemli iş kalemlerinden olan demir, beton ve kalıp maliyetleri Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nca yayınlanan 2022 Birim Fiyatları [22] esas alınarak Çizelge 10 ve 11'de verilmiştir. En düşük maliyet salt perdeli A13 sistemi için hesaplanmış olup bu maliyetin salt çerçevesi A11 modeline göre yaklaşık %5 oranında daha ekonomik olduğu görülmektedir. Diğer tüm modellerin maliyetleri A11 modelinin maliyetine oldukça yakın olup farklar %3 değerinin altındadır. Burada elde edilen maliyetler için en belirleyici parametre, birim fiyatı en yüksek olan betonarme inşaat demiri kalemleri olmuştur. Maliyetleri oluşturan alt iş kalemleri ile birlikte yaklaşık kaba yapı maliyetlerinin toplam değerleri Şekil 6'da verilmiştir.

Çizelge 10. Demir, beton ve kalıp poz no ve birim fiyatları.

İş Kalemleri	Poz No	Birim Fiyat (₺)
Betonarme İnce Demiri (8-12mm)	15.160.1003	13,678.13
Betonarme Kalın Demiri (14-28mm)	15.160.1004	13,630.00
C35/45 Hazır Betonu	15.150.1007	627.71
Düz Yüzeyle Bet. Kalıbı	15.180.1003	129.53

Çizelge 11. Kaba yapı yaklaşık maliyetleri.

İş Kalemleri	A11	A13	A15_1	A15_2	A22_2
Betonarme İnce Demiri (₺)	1,681,780.8	1,549,855.2	1,728,122.3	1,767,337.5	1,707,181.1
Betonarme Kalın Demiri (₺)	1,125,442.7	783,684.1	1,101,917.4	871,829.3	975,921.6
C35/45 Hazır Betonu (₺)	1,215,874.3	1,300,615.1	1,299,359.7	1,276,134.4	1,278,017.6
Düz Yüzeyle Bet. Kalıbı (₺)	1,579,877.4	1,710,443.7	1,651,507.5	1,657,465.9	1,659,667.9
TOPLAM (₺)	5,602,975.2	5,344,598.1	5,780,906.9	5,572,767.1	5,620,788.2



Şekil 6. Yaklaşık kaba yapı maliyetleri

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, ülkemizde herhangi bir lokasyon üzerinde yapılabilecek olan bodrum, zemin ve 11 adet normal kattan oluşan konut türü betonarme bir bina için deprem yönetmeliğinin (TBDY 2018) 4. Bölümündeki Tablo 4.1'de önerilen 5 farklı taşıyıcı sistem tipi modellenmiş ve bu modeller karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir. Süneklik düzeyi yüksek olan; A11 modeli salt çerçevelerden, A13 modeli salt perdelerden, yaklaşık 0.007 perde oranı ile A15_1 ve 0.012 perde oranı ile A15_2 modelleri çerçeve ile perdelerden oluşmaktadır. A22_2 sistemi ise A15_2 modelinden süneklik düzeyi karma olarak türetilmiştir. Deprem yönetmeliğinin ilgili maddeleri gereği A11, A13, A15_1, A15_2 ve A22_2 modelleri için taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R) sırası ile 8, 4.8, 5.6, 5.6 ve 4 şeklinde seçilmiştir. Yönetmelikte verilen bazı koşulların (deprem etkilerinin betonarme çerçeve ve perdelerle karşılandığı binalarda kenar akslardaki perdelerin, deprem etkisinde binanın tamamında oluşacak taban devrilme

momentinin 1/6'sından fazlasını karşılaması koşulu) sağlanamamasından dolayı perdeli modellerde taşıyıcı sistem davranış katsayıları 4R/5 şeklinde azaltılmış ve bu R değerleri zorunlu olarak elde edilmiştir. Ön tasarım aşamasında yapılan deneme analizlerinden, kenar akslarda oldukça büyük en kesitlere sahip betonarme perdelerin düzenlenmesinin mimari nedenlerle çok zor olduğu ve dolayısıyla 4R/5 azaltmasından kaçınmanın da hayli güç olduğu anlaşılmıştır. Çalışma kapsamında irdelenen modeller özelinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

DBYBHY 2007 deprem yönetmeliğinde alışlagelen mertebelerle uyumlu olarak taşıyıcı sisteme eklenen perdelerin yapıyı rijitleştirmesi ve daha küçük doğal titreşim periyotları beklenirken, tüm perdeli modellerde bu beklenti perde rijitliklerinin çok büyük olduğu X yönlerinde kısmen karşılanmış fakat çok sayıda ama daha küçük kesitli perdelerin olduğu (salt perdeli A13 modeli başta olmak üzere) Y yönlerinde daha büyük periyotlar elde edilmiştir. Bu durum deprem yönetmeliğinde perdeler için verilen etkin kesit rijitlik çarpanlarının çerçeve kolonları için verilen etkin kesit rijitlik çarpanlarından çok daha düşük olması ile açıklanabilir.

Modeller arasında taban kesme kuvveti ve tepe deplasmanı dağılımları karşılaştırıldığında, her iki büyüklük için de dağılımların çok büyük oranda 1/R ilişkisine benzer şekilde gerçekleştiği görülmüştür. En küçük eşdeğer deprem yükleri R=8 olan A11 modeli için, en büyük eşdeğer deprem yükleri ise R=4 olan A22_2 modeli için elde edilirken A13 (R=4.8), A15_1 (R=5.6) ve A15_2 (R=5.6) modelleri 1/R oranı ile ilişkili olarak ortalama değerler almışlardır. Ayrıca en küçük yatay yerdeğiştirmelerin salt çerçevesel A11 modeli için elde edilmesinden R=8 katsayısının yansırı yine kolon ve perdelerin etkin kesit rijitlik çarpan değerlerinin etkili olduğu anlaşılmaktadır. En büyük yatay yerdeğiştirmeler ise salt perdeli A13 (R=4.8) ve perde oranı yüksek olan ve süneklik düzeyi karma A22_2 (R=4) modeli için hesaplanmıştır. Çalışma kapsamındaki modeller arasında perde oranı arttıkça maksimum deprem deplasmanlarının artış gösterdiği söylenebilir.

Modeller arasında kütle ve periyot değerlerinin yakın olması nedeniyle R katsayılarının bu parametrelere kıyasla eşdeğer deprem yükleri ve deprem deplasmanları üzerinde çok daha baskın bir etkisinin olduğu gözlenmiştir. Bu durumda, yönetmelikte R katsayısının seçimiyle ilgili verilen yaptırımların, binalarda elde edilen taban kesme kuvveti ve maksimum deprem deplasmanları büyüklükleri için çok önemli oranda belirleyici olduğu söylenebilir.

Binalara etkiyen deprem kuvvetlerinin bina ağırlıklarının yaklaşık olarak %3'ü ile %8'i arasında olduğu gözlenmiştir.

Modellerde burulma düzensizliği mevcut olmayıp düzensizlik katsayısı 1.2 sınır değerinin altındadır. Görelî kat ötelemeleri ve ikinci merteye etkileri de yönetmelikte verilen sınır değerlerin altında kalmış olup bu durum modellerin yönetmelik kriterlerine göre yeterli rijitliğe sahip olduğunu göstermektedir.

Dayanıma göre tasarım (DGT) yaklaşımına uygun olarak doğrusal hesap yöntemiyle yapılan performans analizlerinde tüm modeller DD-2 yer hareketi düzeyinde kontrollü hasar (KH) performansını sağlamıştır. Eksenel yüklerin maksimum olduğu bodrum ve zemin katlar incelendiğinde hasar durumlarının zemin katlarda daha fazla olduğu görülmüştür. Bu durumda tüm modeller için kritik kat olan zemin katlar incelendiğinde, BH bölgesinde kalan düşey taşıyıcı elemanlar A11 için sayıca yaklaşık %93 (ve diğer %7 İH bölgesinde), A13 için %78, A15_1, A15_2 ve A22_2 için ise %91 olarak hesaplanmıştır. Diğer düşey elemanlar SH bölgesinde kalmıştır. Performans analizleri sonucunda elde edilen bu verilere göre kritik kat olan zemin katlarda en fazla hasar salt çerçevesel A11 modelinde, en az hasar ise salt perdeli A13 modelinde gözlenmiştir.

Perdeli modellerin tamamında rijitliği her iki yönde de çok yüksek olan asansör perdeleri tüm katlarda SH bölgesinde kalmış olup BH bölgesine geçilmemiştir. Genel olarak perdeli modellerde bazı perdelerin deprem esnasında alacağı hasar nedeniyle yaşayacağı rijitlik kaybının yapıda rijitlik merkezini kaydırarak burulmaya neden olabileceği ve dolayısıyla deprem performansının kontrolden çıkabileceği unutulmamalıdır. Bu kapsamda çalışmada ele alınan perdeli modellerde tüm katlardaki perde hasarları incelenmiş, SH ve BH seviyesindeki perde hasarlarının burulmaya neden olmayacak şekilde simetrik olarak geliştiği gözlenmiştir.

Zemin katlardaki kiriş hasarları incelendiğinde, A11 modelinde zemin kat kirişlerinin tamamının BH bölgesinde kaldığı ve diğer modellerde ise kirişlerin SH ve BH dağılımlarının sırasıyla %27 ve %73 olarak geliştiği gözlenmiştir. Tüm modellerde normal katlara geçildiğinde kirişlerin tamamına yakınının BH bölgesinde kaldığı gözlenmiştir.

En yüksek donatı metrajı salt çerçeveli olan A11 modeli ve perde oranının en düşük olduğu A15_1 modeli için sırasıyla 205,528 kg ve 207,186 kg olarak elde edilmiştir. En düşük donatı miktarı ise salt perdeli olan A13 modeli için 170,806 kg olarak hesaplanmıştır. Kaba yapı maliyeti için en belirleyici iş kalemi donatı metrajları olup kaba yapı maliyet hesaplarına hazır beton ve betonarme kalıbı imatları da dahil edilmiştir. En düşük maliyet 5,344,598.1 ₺ tutar ile salt perdeli A13 modeli için hesaplanmış olup bu tutar salt çerçeveli A11 modelinin kaba yapı maliyetinden yaklaşık olarak %5 daha ekonomiktir. En yüksek maliyet ise 5,780,906.9 ₺ tutar ile A15_1 modeli için hesaplanmıştır.

Kaynaklar

- [1] İlki A. 9. Türkiye Deprem Mühendisliği Konferansı, Sunuş konuşması, İstanbul, Türkiye; 2021.
- [2] Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 2007.
- [3] Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, 2018.
- [4] 24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) Depremi Raporu. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, 2020.
- [5] 30 Ekim 2020 Sisam Adası Depremi Raporu. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, 2020.
- [6] Şahan MF, Tanrikulu AH. Çeşitli Deprem Yönetmeliklerinin Yeni Türk Deprem Yönetmeliği (TDY-1998) ile Karşılaştırılması. Ç.Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi 2005; 20:(2)169–183.
- [7] Öncel FA, Ünsal İ, Şahan MF. Değişen Yapı Yükseklikleri İçin TBDY 2018 Spektrum Analizlerine Göre Elde Edilen Taban Kesme Kuvvetleri Değişimlerinin İncelenmesi. In: 6th International Conference On Engineering & Natural Sciences, Şanlıurfa, TURKEY; 2020.
- [8] Ünsal İ, Öncel FA, Şahan MF. TDY 2007 ve TBDY 2018 yönetmeliklerine göre yapı yüksekliğinin taban kesme kuvveti ve tepe deplasmanı üzerindeki etkisinin incelenmesi. Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi 2020; 8(4), 930-942.
- [9] Ünsal İ, Şahan MF. TBDY 2018 yönetmeliğinde verilen süneklik düzeyi yüksek betonarme taşıyıcı sistemler için maliyet ve deprem performansı bakımından bir karşılaştırma. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi 2021; 36(2), 509-522.
- [10] Dogan O, Genç, Y, Odacıoğlu, OG. Betonarme taşıyıcı sistemlerin depreme dayanıklı tasarımında uyumlu perde-çerçeve davranışı için minimum perde oranının belirlenmesi . Politeknik Dergisi 2021; 1-1. DOI: 10.2339/politeknik.871889
- [11] Çapa YU, Özuygur AR, Celep Z. A study on earthquake performances of reinforced concrete buildings with various number of stories. Journal of Structural Engineering & Applied Mechanics 2021; 4(2), 083-098.
- [12] Türkiye Deprem Tehlike Haritası. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, 2018. <http://tdth.afad.gov.tr/TDTH>
- [13] Ünsal İ. Türk deprem yönetmeliğinde verilen deprem analiz yöntemlerinin yapı geometrisine bağlı olarak irdelenmesi. Yüksek lisans tezi. Adana: Çukurova Üniversitesi; 2013.
- [14] Öncel FA, Duman C, Şahan MF. Yüksekliğin ve Şerefe Sayısının Yığma Minarelerin Serbest Titreşimlerine Etkisinin İncelenmesi. 6th International Conference on Engineering & Natural Sciences, Şanlıurfa, TURKEY;2020.
- [15] Maras MM, Özmen A, Sayın E, Ayaz Y. Seismic assessment of the historical sütlü minaret mosque. Periodica Polytechnica Civil Engineering 2022. <https://doi.org/10.3311/PPci.19400>
- [16] Pala M, Şaşmaz Z. Kat seviyeleri farklı bitişik nizam yapılarda kat kütlelerinin çarpışma kuvvetine etkisi. Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2019; 6 (10), 47-63.
- [17] Çetin K, Demir A. Investigation of pounding effect in mid-rise adjacent structures. Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2021; 8(15), 283-293

- [18] Firar LE, Günaydın İB. Analysis and comparison of reinforced concrete structures with different package programs. *Sciennovation* 2021; 3(1), 15-38.
- [19] STA4-CAD. Structural Analysis for Computer Aided Design (version 14.1), İstanbul, 34718.
- [20] Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları. Türk Standartları Enstitüsü, TS 500; 2000.
- [21] Atımtay E. Depremde çökmeyen bina nedir? Nasıl projelendirilir? Ankara 2009.
- [22] 2022 yılı inşaat ve tesisat birim fiyatları. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı 2022.

MULTI-LABEL TEXT ANALYSIS WITH A CNN AND LSTM BASED HYBRID DEEP LEARNING MODEL

Halit ÇETİNER^{1*}

¹Isparta University of Applied Sciences, Vocational School of Technical Sciences, Isparta, Turkey

Geliş Tarihi/Received Date: 21.04.2022 Kabul Tarihi/Accepted Date: 04.06.2022 DOI: 10.54365/adyumbd.1106981

ABSTRACT

In this article, it is aimed to categorize meaningful content from uncontrolled growing written social sharing data using natural language processing. Uncategorized data can disturb social sharing users with an increasing user network due to deprecating and negative content. For the stated reason, a hybrid model based on CNN and LSTM has been proposed to automatically classify all written social sharing content, both positive and negative, into defined target tags. With the proposed hybrid model, it is aimed at automatically classifying the content of the social sharing system into different categories by using the simplest embedding layer, keras. As a result of the experimental studies carried out, a better result was obtained than in the different studies in the literature using the same data set with the proposed method. The obtained performance results show that the proposed method can be applied to different multilabel text analysis problems.

Keywords: Long Short Term Memory, Convolutional Neural Network, Multi-Label Text Classification, Social Network

CNN VE LSTM TABANLI HİBRİT BİR DERİN ÖĞRENME MODELİ İLE ÇOK ETİKETLİ METİN ANALİZİ

ÖZET

Bu makalede doğal dil işleme kullanılarak kontrolsüz olarak büyüyen yazılı sosyal paylaşım verilerinin içerisinden anlamlı içeriklerin kategorize edilmesi amaçlanmıştır. Kategorize edilmeyen verilerin, artan kullanıcı ağına sahip sosyal paylaşım kullanıcılarını olumsuz ve negatif içerikten dolayı rahatsız edebilmektedir. Belirtilen sebepten dolayı olumlu ve olumsuz olmak üzere tüm yazılı sosyal paylaşım içeriklerinin tanımlı hedef etiketlerine otomatik olarak sınıflandırılabilmesi için CNN ve LSTM tabanlı bir hibrit model önerilmiştir. Önerilen hibrit model ile en basit gömme katmanı olan keras kullanılarak farklı kategorilere sahip sosyal paylaşım sistemi içeriklerinin otomatik sınıflandırılması hedeflenmiştir. Gerçekleştirilen deneysel çalışmalar neticesinde önerilen yöntem ile aynı veri setini kullanan literatürdeki farklı çalışmalardan daha iyi bir sonuç elde edilmiştir. Elde edilen performans sonuçları önerilen yöntemin farklı çok etiketli metin analizi problemlerine de uygulanabileceği göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Uzun Kısa Süreli Bellek, Konvolüsyon Sinir Ağı, Çok Etiketli Metin Sınıflandırma, Sosyal Ağ

1. Introduction

As a social being, human beings use social networking accounts such as WhatsApp, Facebook, Wikipedia, Instagram, Twitter to maintain their past or present friendships and establish new relationships. The number of users in cheap and fast information sharing systems, especially in the mentioned social sharing systems, is increasing day by day [1]. The increase in the use of social sharing systems also increases data sharing. Within these data increases, professional fake news content can be

* e-posta¹ : halitcetiner@isparta.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7794-2555> (Sorumlu Yazar)

produced, and it is seen that data that can be considered negative in content are quickly shared on social platforms [2].

Insecurity in data and news on social sharing systems affects users negatively, as well as negatively affecting comments with negative and obscene content. Such content can cause changes in user attitudes [3]. The main reason for the increase in such content is that social sharing systems, which have the ability to easily influence people, are out of control. Uncontrolled sharing of negative thoughts and behaviors on social media causes such useless thoughts to increase. This article provides an automatic categorization of classes in the comments of a particular social networking system on the Internet. Thanks to the automatic categorization and classification process, users will be informed before reading the message content. In line with this purpose, as a result of experimental studies on user comments of the Wikipedia social networking system, automatic classification of content with one or more target tags has been achieved over the same data.

Multi-label text classification refers to dealing with multiple target labels simultaneously [4]. In multilabel text classification approaches, deep learning algorithms give better results than classical LDA [5] and KNN [6] algorithms for different reasons. LDA is an algorithm that uses information contained in unlabeled content to augment the small set of unlabeled samples at the beginning of the method's run [5]. Based on the traditional K Nearest Neighbor (KNN) algorithm, the proximity values of texts are measured [6]. CNN structures, unlike these classical structures, perform one-dimensional filtering of the vectors of words in a sentence. It can use different filtering sizes while doing this [7]. In the first of these, automatic feature extraction processes are performed in deep learning algorithms instead of classical machine learning algorithms [8]. The second is that it can be easily used in large-scale data sets [9]. For the stated reasons, researchers who want to offer the best solution to the multilabel text classification problem have turned to deep learning methods [10]. Existing word, word and translation applications are being replaced by deep learning models instead of machine learning-based methods [11]. When the performance metrics obtained as a result of these transformations are examined, it is stated that deep learning-based models give better results than classical machine learning methods [12].

Deep learning models proposed in the literature to solve multilabel text classification problems are examined. It is seen that a deep learning model consisting of 29 convolution layers, also known as the feature extraction layer, is assembled in succession [13]. Similar to this developed model, [14] proposed a model consisting of five successive convolution layers. Similarly to the models mentioned, a deep learning model consisting of convolution and maximum pooling layers, which is considered the most important layer of deep learning, has been proposed [15]. Kim performed text classification with the help of Word2Vec pretrained networks using 1D CNN structures [15]. Developed a nonstatic text classification model using 1D CNN [14]. It also performs text classification with two multichannel pretrained word embedding structures. Zhou et al. proposed a model that uses CNN and RNN structures together for text classification [16]. In natural language processing applications, an effective increase in performance criteria is observed when the parameters that make up deep learning models are appropriately adjusted [17–19]. In this article, a hybrid method is proposed by combining CNN and LSTM [9,20] methods that are frequently used together with natural language processing methods. For this purpose, the parameters of the model, which combine the strengths of CNN and LSTM methods, have been determined by experimental studies.

Deep learning models based on natural language processing and recurrent neural networks are used in multilabel text classification. In a data set open to researchers, preprocesses such as cleaning numbers, converting them to lowercase, removing spaces, and special characters were applied to bring all texts to the same standard. The preprocessed text chunks are divided into training and testing. The text chunks are trained with the help of pre-trained networks using the Keras embedding layer. As a result of the test data given to the model created with the help of trained networks, test performance results were obtained. The performance results obtained as a result of the training and testing processes are presented using metrics commonly used in the literature. The contributions of the study to the literature as a result of the processes and the proposed models are given below.

- CNN and LSTM deep learning frameworks are combined to perform effective multilabel text analysis by emphasizing the structure of words in social sharing comments.

- CNN and LSTM deep learning models were compared in terms of F1 score, precision, recall, and accuracy metrics.
- A light hybrid model is proposed due to the large data set used and the long training time.
- The comparison of the proposed deep learning model with the studies in the literature was made according to general performance metrics such as F1 score, precision, recall, and accuracy.
- The automatic classification of inappropriate Wikipedia comments was carried out in a very short time with the proposed models.

The next steps of the article consist of three parts. In the first part, information is given about the material to be used to analyze and classify Wikipedia comments. At the same time, the foundations of deep learning architectures used within the scope of this article are given. In the second part, the results obtained according to the general performance metrics are given. In the last part, the study is concluded.

2. Material and Methods

In the Material and Methods section, information is given about the Wikipedia dataset used within the scope of the article. After the data set used is detailed, the theoretical foundations of the deep learning models that will train this data set are examined.

2.1. Material

Data sets that can be determined by experts to determine which text belongs to which class are rare [21]. As a result of the research, a Wikipedia user comment dataset, which is open to all researchers and tagged by text experts, was used [22]. This data set consists of 20,000 words with six different class labels [9]. The data set used was divided into three parts, 80% training, 10% testing, and 10% validation data. Ninety percent of the class labels in the data set do not have any class labels. While 9.58% of the rest belong to the toxic class, the rest belong to other classes.

In the data set used, there are six different target tags: toxic, severe toxic, obscene, threat, insult, and identity hate. The toxic, severe toxic, obscene, threat, insult, and identity hate values defined as the target tag are the tag names given according to the content in the comments. Separation of the data sets used according to the target tags was carried out by an artificial intelligence team of 5000 people [23]. The data set with the specified target tags is an unbalanced data set. This uneven distribution is shown in Table 1. Apart from the distributions shown in Table 1, there are 124473 unclassified observations.

Table 1. Dataset label distributions [23]

Target Tags	Number of observations
Toxic	15294
Severe Toxic	1595
Obscene	8449
Threat	478
Insult	7877
Identity Hate	1405

A comment can have multiple tags at the same time. In this case, the problem changes from a multiclass text problem to a multilabel text problem. Natural language processing and CNN and LSTM methods from deep neural networks were used in the classification process of defined target classes within the specified scope. In the multilabel text classification problem, firstly, preprocesses such as cleaning the numbers, converting to lowercase, removing spaces and special characters are applied to bring all texts in the data set to the same standard. Afterwards, the preprocessed text chunks are divided into training and testing. In the third operation, the text chunks are trained with the help of pre-trained networks using the keras embedding layer. This training process also allows one to draw result graphs directly from the top of the curve in accuracy graphs. Instead of training and test graphics from zero and near zero points, it is ensured that performance results are obtained from above in the first step.

2.2. Methods

2.2.1. LSTM

Feedforward neural networks with hidden states and whose hidden states are triggered by previous states at a given time are defined as RNN architecture [20]. For the stated reason, RNN architectures can model contextual information by processing sequences of variable length [24]. LSTM methods are a method that offers a solution to the disappearing gradient problem in RNN structures. It gives better results than other RNN-based models in long-term recall of the data to be remembered [25,26]. LSTM has a chain structure in time series with sequential data entry [21]. As in the the GRU structure, in LSTM structures, the information from outside is represented by the symbols x_t , the structure h_{t-1} expressing the precurent state, and the current state h_t .

$$f_t = \sigma(W_f X_t + U_f h_{t-1} + b_f) \quad (1)$$

$$i_t = \sigma(W_i X_t + U_i h_{t-1} + b_i) \quad (2)$$

$$o_t = \sigma(W_o X_t + U_o h_{t-1} + b_o) \quad (3)$$

$$g_t = \tanh(W_g x_t + R_g h_{t-1} + b_g) \quad (4)$$

In Equation 1-4, W represents weight value, R represents repetitive weight value and b represents bias. The terms f_t , i_t , and o_t in Equations 1-4 represent forgetting, input and output gates at time t , respectively. g_t represents the state layer. The standard LSTM uses only the historical context, not the future temporal context [20].

2.2.2. CNN

Although fully connected neural networks are known to be good at classification problems, they can cause many connectivity problems. Sentences that are far from each other should not be evaluated together with sentences that are close to each other. However, fully connected neural networks treat far and near sentences alike. In order to solve this problem, CNN methods have been used in multi-label text analysis. In this structure, instead of connecting all input neurons between the layers, a small structure is connected. As a result of this fastening process, there is a great reduction in calculation costs.

While RNN is used to recognize words in time series, CNN is trained to recognize words in space [27]. CNN in text classification problems was first proposed in [14]. The maximum pooling is used, which selects the largest value in hovering windows over digitized text data. It is stated that a word matrix is created for each word in the embedding layer they use. Subsequently, a feature map was created

that contains short- and long-term relationships of digitized and weighted sentences from the embedding layer, the convolution layer, and the maximum pooling layer. Finally, text classification was performed on target tags using the sigmoid activation function.

In the convolution process, to detect the edges of an object in the image or to determine the distinguishing features in the text, the filters must be navigated on the basis of rows and columns within the specified area. During the filtering process, the values defined in the convolution kernel are multiplied by the values in the hovering area, and the convolution operation is performed. The stated situation is expressed in Equation 5. I in Equation 5 shows the data matrix. A filter square matrix named K of size [i,j] is circulated over the defined data matrix. After this navigation process, a new I*K data matrix of [x,y] dimension is obtained.

$$(I * K)_{xy} = \sum_{i=1}^h \sum_{j=1}^w K_{ij} \cdot I_{x+i-1,y+j-1} \tag{5}$$

The formula representing the most important layer of CNN structure is shown in Equation 5. After the convolution layer, layers such as batch normalization, dropout, density, and fully connected are applied in a certain order and successively [28]. The parameters and ordering of these layers can change the classification success rates.

2.2.3. CNN and LSTM Based Hybrid Model

In this section, the structures of two different deep learning architectures based on CNN and LSTM are combined to classify Wikipedia data. The hybrid model layer structure created by combining, the number of steps, the performance metrics obtained, and the running times are presented in this section. The number of layers, structure and features of the model are set to be the same in order to be able to compare the obtained model correctly.

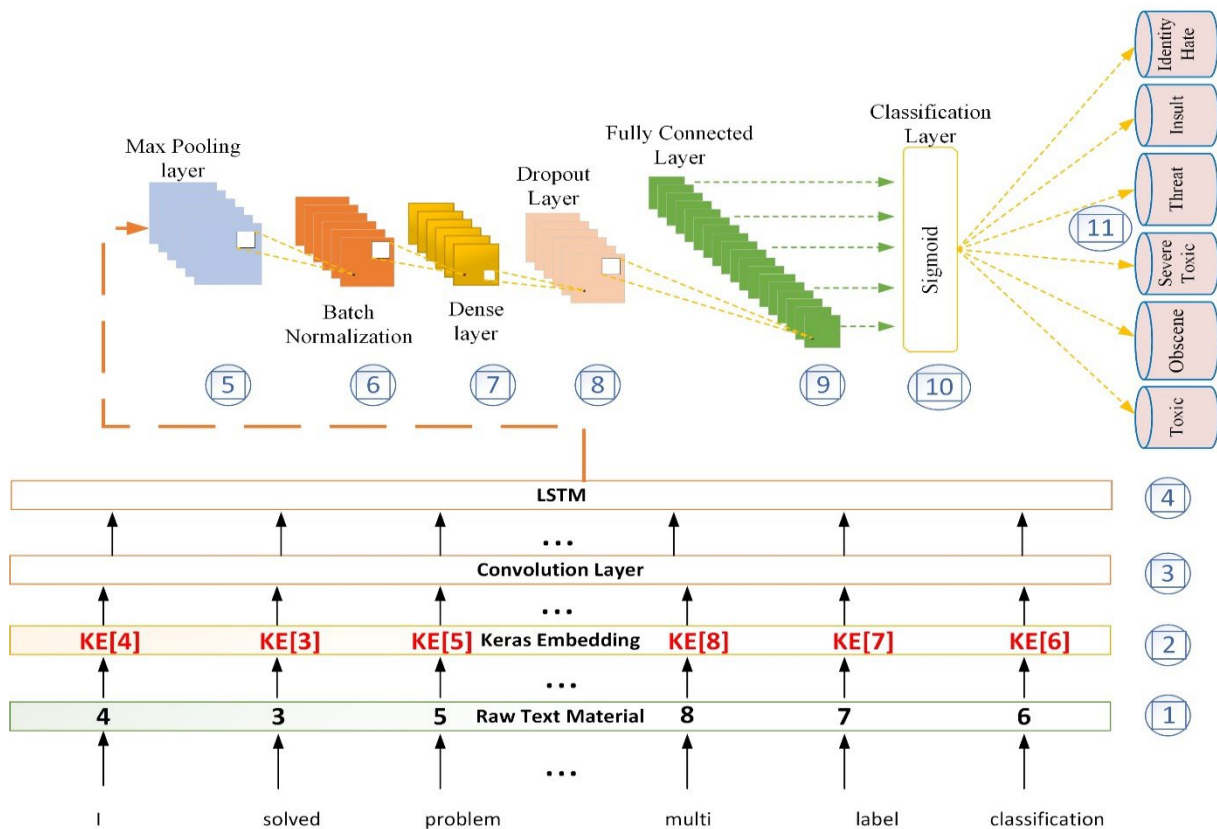


Figure 1. Proposed CNN LSTM deep learning model

The maximum word length that the network can process is 20,000, the maximum attribute is 200,000, and the batch size value is 256. Training data and target data are set to fill margins up to 200 sentences long. The proposed hybrid CNN LSTM deep learning model is shown in Figure 1. In the first layer of the model seen in Figure 1, raw text data are given as input. In the second layer, a layer of 148243 long keras embedding layer is defined. In this layer, the words are weighted. Due to this process, words are digitized and kept as vectors.

In the third layer, a convolution layer with 256 filters with ReLU activation function is defined using 4x4 windows. In this layer, many filters with different window sizes act on word placements to perform one-dimensional convolution. As the filters move, semantic, contextual and syntactic meanings are captured and many sequence structures are created. By combining these structures, feature maps of word embeddings are created. In this layer, although sentences of different lengths are taken as input, it is ensured that vectors of fixed length are obtained as output.

In the fourth layer, a 128 neuron LSTM layer was added. In this layer, the semantic data of the feature maps are kept in the memory for a longer time. In the fifth layer, the most distinctive local features on the feature map were captured. In the sixth layer, vector-type features were converted to two-dimensional matrix by batch normalization. In the seventh layer, there is the den layer that connects with the previous feature networks. In the dense layer with 256 neurons, a full connection was achieved to the next layer with the previous layers. In the ninth layer, the data from the forgetting layer to the eighth layer are made into a one-dimensional array.

In the tenth layer, the sigmoid activation function was applied to the data from the ninth layer. This activation function is shown in Equation 6 [29]. The z in the equation represents the values in the fully connected layer coming from the classification layer. These values are brought to a certain scale. After this layer, the result of multi-label text classification is obtained. A value is formed for each target tag value. Comparison with the actual value can be made using the estimated value above a certain threshold value.

$$\sigma(z) = \frac{1}{1 + e^{-z}}, z \in \mathbb{R} \quad (6)$$

3. Experimental Results and Discussion

Experimental studies were carried out using tensorflow libraries in the Python 3.8 environment. Proposed models are run using GPU on a graphics card with NVIDIA GeForce RTX 3060 version. The Adam optimization method was used in the six iteration trials of the layer structure detailed in Figure 1. The man optimization method was run with a learning rate of 0.01. As a hyper parameter, the best results were obtained with batch size 256 value. Performance evaluations of the proposed model were performed according to the formulas of Equations 7-10. The result values obtained from the deep learning model are given in Table 2. The measurement results given were calculated according to the basic formulas in the study [30].

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (7)$$

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (8)$$

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (9)$$

$$F1 = 2x \frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall} \quad (10)$$

In Figure 2, the training accuracy and loss graphs and test accuracy and loss graphs are presented. In the hybrid CNNLSTM model proposed in Figure 2, it is seen that it starts from high level training and test accuracy rates with the effect of keras embedding layer. The F1 score, recall, and precision values of the performance results obtained are presented in Table 2. In the article, the Adam optimization method was used to obtain the performance results according to the formulas in Equations 7-10. Among the reasons for using this is that although the SGD optimization method has a fast gradient descent, it is difficult to reach the targeted values such as precision, F1 score, recall, and accuracy. Rapid gradient descent, which increases the learning speed of deep learning models, has problems with overshooting the slope. In addition to these, RMSProp calculates the learning rate by dividing the exponentially decreasing square gradient mean and decreases the learning rate as the gradients approach the minimum.

Due to the disadvantages of SGD and RMSProp optimization methods, Adaptive Moment Estimation (Adam) [31] optimization method was used as an optimization method in the training processes in this article. The Adam optimization method proceeds by calculating an exponentially decreasing gradient mean, such as momentum, as the gradient can decrease exponentially with the square mean [32]. For these reasons, the Adam optimization method was used as a single optimization method in the multilabel text analysis of Wikipedia data.

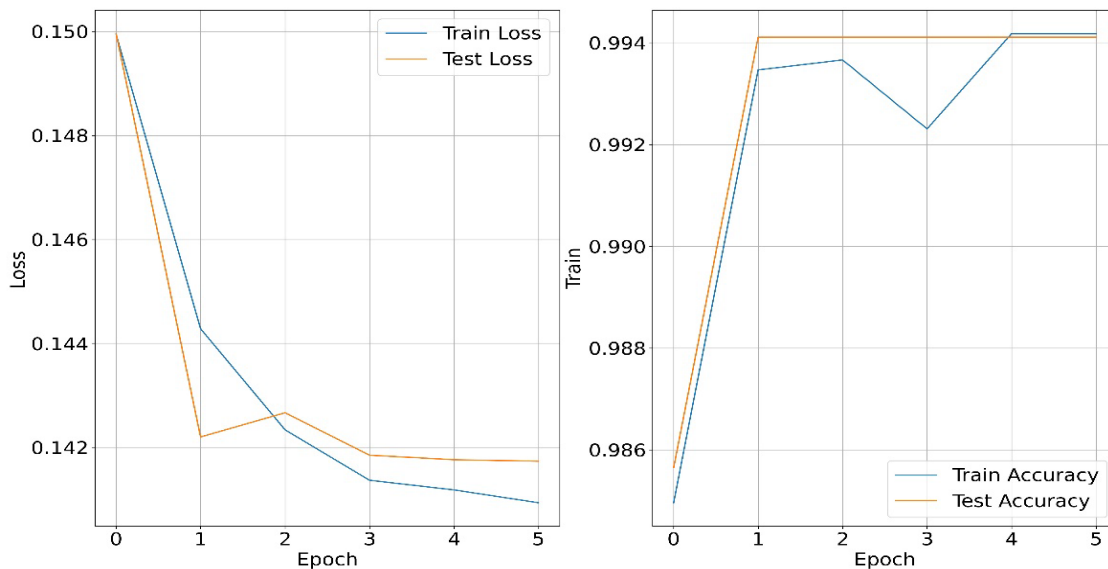


Figure 2. Proposed CNN-LSTM model training, test accuracy and loss plot

When Table 2 is examined, it is seen that the training and test results are very close to each other and the loss values are plotted in a way that is proportional to the accuracy values. The results obtained show that the proposed study has a sufficient success rate. Performance analysis can be detailed by comparing these results with different studies using the same data set in the literature.

Table 2. Performance results of the proposed hybrid CNNLSTM model

Model	Precision	Recall	F1 score	Accuracy
CNNLSTM model (training)	0.8764	0.7976	0.8213	0.9942
CNNLSTM model (test)	0.8681	0.7950	0.8112	0.9941

Predict	toxic	15200 43.17%		88 0.25%	1 0.00%	75 0.21%	10 0.03%	15374 98.87% 1.13%
	severe_toxic		1595 4.53%					1595 100% 0.00%
	obscene	33 0.09%		8449 23.99%		1 0.00%		8483 99.60% 0.40%
	threat				478 1.36%			478 100% 0.00%
	insult					7877 22.37%		7877 100% 0.00%
	identity_hate						1405 3.99%	1405 100% 0.00%
	sum_col	15233 99.78% 0.22%	1595 100% 0.00%	8537 98.97% 1.03%	479 99.79% 0.21%	7953 99.04% 0.96%	1415 99.29% 0.71%	35212 99.41% 0.59%
		toxic	severe_toxic	obscene	threat	insult	identity_hate	sum_lin
		Actual						

Figure 3. The confusion matrix of proposed model

Class-based accuracy rates obtained with the test data of the proposed model are shown in Figure 3. According to the proposed model, 98.87%, 100%, 99.60%, 100%, 100%, 100%, 100% success rates were achieved in the classification of toxic, severe_toxic, obscene, threat, insult, identity_hate target tags, respectively. The average success rate was determined as 99.41%.

When different studies using the same data set are examined, it can be directly decided whether the results obtained are good or bad. In this sense, the performance results of deep learning models using different word placement algorithms to classify the Wikipedia dataset are presented in Table 3. In CNN, LSTM and BiLSTM deep learning models, it is observed that GloVe word placement algorithm gives much better results than random word placement algorithm [33]. They have shown that they will be more successful when the word sequences have weight in a certain order. At the same time, it is stated that word placement algorithms with a certain starting point can be considered to be more successful [33].

Although LSTM models generally give good results in natural language processing problems, the authors express that they are surprised that the CNN model gave as successful results as the LSTM model in their study. Although LSTM is successful in solving the vanishing gradient problem, it is mentioned that the CNN method accurately captures local dependencies at different points of the inputs. The BiLSTM model, on the other hand, is shown to have more layers than other models as the main reason for its success. At the same time, it was reported that after the number of layers in the BiLSTM model increased, the training time increased significantly compared to the CNN model. Furthermore, the CNN model is stated to be more prone to overfitting than the BiLSTM model. It is stated that when the BiLSTM model is used with GloVe word insertion, it provides better results than the LSTM and CNN methods.

Table 3. Model performance results with different Word Embeddings

Model	Word Embeddings	Precision	Recall	F1 score	Accuracy
[33] CNN	GloVe	-	-	-	0.9174
[33] LSTM	GloVe	-	-	-	0.9396
[33] BiLSTM	GloVe	-	-	-	0.9756
[33] CNN	Random	-	-	-	0.9145
[33] LSTM	Random	-	-	-	0.8841
[33] BiLSTM	Random	-	-	-	0.9222
[34] CNN	FastText	0.86	0.83	0.778	0.904
[34] CNN	GloVe	0.85	0.76	0.795	0.912
[34] CNN	Word2Vec	0.82	0.73	0.739	0.889
[34] LSTM	FastText	0.87	0.75	0.796	0.917
[34] LSTM	GloVe	0.86	0.76	0.803	0.930
[34] LSTM	Word2Vec	0.84	0.73	0.744	0.896

Another study in which the results obtained with the hybrid CNNLSTM model were compared in the article is [34]'s study. According to this study, the LSTM method is stated to give a better result than the CNN and GRU methods. The fluctuation in the results is stated to be due to the fluctuation in the Wikipedia data set used in this article. It is declared that the use of pretrained weight methods does not affect the results too much. The F1 score penalizes incorrect class predictions in proposed models. The study [34] performed better than the study [33] in terms of the F1 score.

4. Conclusions

With an increase in the number of Internet users, there is a great increase in the use of social sharing systems. This increase can have positive as well as negative sides. One of the negative aspects is that user comments must be manually or automatically classified according to different class tags. A CNN LSTM-based hybrid deep learning model has been developed to perform this process. With the proposed deep learning model, a 99.41% test success rate has been achieved. The success rate was compared with studies [34] and [33] available in the literature. As a result of word insertion using the Keras embedding layer, the hybrid CNNLSTM method outperformed all accuracy results of the study [29]. At the same time, the proposed study provided a good performance by providing better results in terms of precision, recall, F1 score, and study precision [34]. In this study, the parameters of the CNNLSTM model were also determined by experimental studies. In future academic research, an academic study will be carried out to automatically determine the parameters of the deep learning model with the best results with optimization methods.

References

- [1] Sahoo SR, Gupta BB. Multiple features based approach for automatic fake news detection on social networks using deep learning. *Appl Soft Comput* 2021;100:106983. doi:10.1016/j.asoc.2020.106983.
- [2] Horne B, Adali S. This just in: Fake news packs a lot in title, uses simpler, repetitive content in text body, more similar to satire than real news. *Proc. Int. AAAI Conf. web Soc. media*, 2017; 11: 759–66.
- [3] Balmas M. When fake news becomes real: Combined exposure to multiple news sources and political attitudes of inefficacy, alienation, and cynicism. *Communic Res* 2014;41:430–54.

- [4] Liu B, Liu X, Ren H, Qian J, Wang Y. Text multi-label learning method based on label-aware attention and semantic dependency. *Multimed Tools Appl* 2022;81:7219–37. doi:10.1007/s11042-021-11663-9.
- [5] Pavlinek M, Podgorelec V. Text classification method based on self-training and LDA topic models. *Expert Syst Appl* 2017;80:83–93. doi:10.1016/j.eswa.2017.03.020.
- [6] Feng Y, Wu Z, Zhou Z. Multi-label text categorization using k-Nearest Neighbor approach with M-Similarity. *Int. Symp. String Process. Inf. Retr.*, Springer 2005; 155–60.
- [7] Gong J, Teng Z, Teng Q, Zhang H, Du L, Chen S, Bhuiyan MZA, Li J, Liu M, Ma H. Hierarchical graph transformer-based deep learning model for large-scale multi-label text classification. *IEEE Access* 2020;8:30885–96.
- [8] Nam J, Kim J, Loza Mencía E, Gurevych I, Fürnkranz J. Large-Scale Multi-label Text Classification — Revisiting Neural Networks BT - *Machine Learning and Knowledge Discovery in Databases*. In: Calders T, Esposito F, Hüllermeier E, Meo R, editors., Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2014; 437–52.
- [9] Jayaraman AK, Murugappan A, Trueman TE, Cambria E. Comment toxicity detection via a multichannel convolutional bidirectional gated recurrent unit. *Neurocomputing* 2021;441:272–8. doi:10.1016/j.neucom.2021.02.023.
- [10] Bahdanau D, Cho K, Bengio Y. Neural Machine Translation by Jointly Learning to Align and Translate. *ArXiv* 2014;1409.
- [11] Yadav V, Bethard S. A Survey on Recent Advances in Named Entity Recognition from Deep Learning models. 2019.
- [12] Lauriola I, Lavelli A, Aiolli F. An introduction to Deep Learning in Natural Language Processing: Models, techniques, and tools. *Neurocomputing* 2022;470:443–56. doi:10.1016/j.neucom.2021.05.103.
- [13] Conneau A, Schwenk H, Barrault L, Lecun Y. Very deep convolutional networks for text classification. *ArXiv Prepr ArXiv160601781* 2016.
- [14] Kalchbrenner N, Grefenstette E, Blunsom P. A convolutional neural network for modelling sentences. *ArXiv Prepr ArXiv14042188* 2014.
- [15] Kim Y. *Convolutional Neural Networks for Sentence Classification* 2014.
- [16] Zhou C, Sun C, Liu Z, Lau F. A C-LSTM neural network for text classification. *ArXiv Prepr ArXiv151108630* 2015.
- [17] Johnson R, Zhang T. Semi-supervised convolutional neural networks for text categorization via region embedding. *Adv Neural Inf Process Syst* 2015;28:919.
- [18] Rakhlin A. *Convolutional neural networks for sentence classification* 2016.
- [19] Chen Y. *Convolutional neural network for sentence classification* 2015.
- [20] Liu G, Guo J. Bidirectional LSTM with attention mechanism and convolutional layer for text classification. *Neurocomputing* 2019;337:325–38. doi:10.1016/j.neucom.2019.01.078.
- [21] Cao J, Zhang Z, Luo Y, Zhang L, Zhang J, Li Z, Tao F. Wheat yield predictions at a county and field scale with deep learning, machine learning, and google earth engine. *Eur J Agron* 2021;123:126204. doi:https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126204.
- [22] Wulczyn E, Thain N, Dixon L. Ex Machina: Personal Attacks Seen at Scale. *Proc. 26th Int. Conf. World Wide Web, Republic and Canton of Geneva, CHE: International World Wide Web Conferences Steering Committee* 2017; 1391–1399. doi:10.1145/3038912.3052591.
- [23] Guo X. *Multi-label Classification and Sentiment Analysis on Textual Records* 2019.
- [24] Pang Z, Niu F, O’Neill Z. Solar radiation prediction using recurrent neural network and artificial neural network: A case study with comparisons. *Renew Energy* 2020;156:279–89. doi:https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.04.042.
- [25] Wang JQ, Du Y, Wang J. LSTM based long-term energy consumption prediction with periodicity. *Energy* 2020;197:117197.
- [26] Srinivasu PN, SivaSai JG, Ijaz MF, Bhoi AK, Kim W, Kang JJ. Classification of Skin Disease Using Deep Learning Neural Networks with MobileNet V2 and LSTM. *Sensors* 2021;21. doi:10.3390/s21082852.
- [27] LeCun Y, Bengio Y, Hinton G. Deep learning. *Nature* 2015;521:436–44. doi:10.1038/nature14539.
- [28] Çetiner H. Classification of Apple Leaf Diseases Using The Proposed Convolution Neural Network

- Approach. *J Eng Sci Des* 2021;9:1130–40. doi:10.21923/jesd.980629.
- [29] Langer S. Approximating smooth functions by deep neural networks with sigmoid activation function. *J Multivar Anal* 2021;182:104696. doi:https://doi.org/10.1016/j.jmva.2020.104696.
- [30] Goutte C, Gaussier E. A Probabilistic Interpretation of Precision, Recall and F-Score, with Implication for Evaluation. *Lect. Notes Comput. Sci.* 2005; 3408:345–59. doi:10.1007/978-3-540-31865-1_25.
- [31] Kingma D, Ba J. Adam: A Method for Stochastic Optimization. *Int Conf Learn Represent* 2014.
- [32] Ruder S. An overview of gradient descent optimization algorithms. *ArXiv Prepr ArXiv160904747* 2016.
- [33] Magalhaes A, Small H. Deep Learning Approaches to Classifying Types of Toxicity in Wikipedia Comments.
- [34] Mohammed HH, Dogdu E, Görür AK, Choupani R. Multi-Label Classification of Text Documents Using Deep Learning. *2020 IEEE Int. Conf. Big Data (Big Data), IEEE 2020*; 4681–9.

LACCASE PRODUCTION BY NEWLY ISOLATED GANODERMA LUCIDUM WITH SOLID STATE FERMENTATION CONDITIONS AND ITS USING FOR DYE DECOLORIZATION

Filiz BORAN^{1*}, Özfer YEŞİLADA²

Department of Biology, Arts and Science Faculty, Inonu University, 44280, Malatya/Turkey

Geliş Tarihi/Received Date: 22.04.2022 Kabul Tarihi/Accepted Date: 20.05.2022 DOI: 10.54365/adyumbd.1107682

ABSTRACT

Laccase production capacity of newly isolated fungus *Ganoderma lucidum* was studied during solid state fermentation on solid substrates. Because wheat bran was detected as the most effective solid substrate, effect of various culture parameters and some inducers on laccase production in wheat bran media was investigated. Wheat bran with moisture content of 75%, pH 5.0 and 30 °C was the most effective medium and 10 mM copper addition supported the highest amount of laccase. In glass tray fermenter 2973±220 U/L laccase activity was obtained. Crude laccase gave the highest activity at 70 °C. It was stable at 60°C for 6 hours and retained 37% activity at 70 °C for 2 hours. It decolorized 61% of Remazol Brilliant Blue R within 20 min. Results showed that this strain could produce high amount of laccase and suitable inducer such as copper could induce its laccase production. The crude laccase obtained could be used for textile dye decolorization applications.

Keywords: Decolorization; *Ganoderma lucidum*; Laccase; Solid state fermentation; Wheat bran

YENİ İZOLE EDİLMİŞ GANODERMA LUCIDUM İLE KATI HAL FERMANTASYONU KOŞULLARINDA LAKKAZ ÜRETİMİ VE BOYA RENK GİDERİMİNDE KULLANILMASI

ÖZET

Yeni izole edilmiş fungus *Ganoderma lucidum*' un lakkaz üretim kapasitesi, katı substratlar üzerinde katı ortam fermentasyonu sırasında incelenmiştir. Buğday kepeğinin en etkili katı substrat olduğu tespit edildiğinden, buğday kepeği ortamında çeşitli kültür parametrelerinin ve bazı indükleyicilerin lakkaz üretimine etkisi araştırılmıştır. pH 5.0, 30 °C ve %75 nem içeriği ile buğday kepeği en etkili ortamdı ve 10 mM bakır ilavesi en yüksek lakkaz miktarını destekledi. Cam tava fermentörde 2973±220 U/L lakkaz aktivitesi elde edildi. Ham lakkaz 70 °C'de en yüksek aktiviteyi vermiştir. 60°C'de 6 saat stabildi ve 70°C'de 2 saat boyunca %37 aktiviteyi korudu. Ham lakkaz, 20 dakika içinde Remazol Parlak Mavi R' nin %61 rengini giderdi. Sonuçlar, bu suşun yüksek miktarda lakkaz üretebileceğini ve bakır gibi uygun indükleyicilerin lakkaz üretimini indükleyebileceğini gösterdi. Elde edilen ham lakkaz, tekstil boyası renk giderme uygulamaları için kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: Renk giderimi; *Ganoderma lucidum*; Lakkaz; Katı ortam fermentasyonu; Buğday kepeği

1. Introduction

Solid state fermentation (SSF) is a method processing in the absence or near absence of free water with solid substrate [1]. The use of low-cost and ecofriendly solid substrates or wastes is important for the cost of the application and also for the reduction of environmental pollution. Lignocellulosic

*1e-posta: filiz.kuru@inonu.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8801-7987> (Sorumlu Yazar)

²e-posta: ozfer.yesilada@inonu.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0038-6575>

solid substrates such as wheat cob or straw, sugar cane waste, coffee waste, grape waste and wheat bran are the major substrates for this type of fermentation [2].

SSF could be used to produce many industrial enzymes [3] and this process could be a promising technology for laccase production in high amounts and low-cost. Species and even the strain, culture condition, substrate and inducers are important for laccase production with fungi during SSF.

Laccase oxidizing various compounds including xenobiotics are produced by white rot fungi. Various studies reported the laccase production by white rot fungi [4, 5]. It is important to produce this enzyme at a high level with an appropriate method and inexpensive way [6]. Lignocellulosic raw materials/wastes containing various substrates and inducers for laccase induction may be a suitable alternative as a solid substrate for laccase production [7, 8].

It is hard to decolorize the textile dyes by conventional biological methods. White rot fungi are the important organisms with their high dye decolorization capacity [9]. They produce laccase enzyme which is the main biological system for their dye decolorization activity [10]. *Ganoderma lucidum* is medicinal white rot fungus and produces this biotechnologically important enzyme as a main ligninolytic enzyme [11, 12].

The aim of this study was to test the laccase production ability of *Ganoderma lucidum* during SSF by using different supports/solid substrates and also to determine the effect of moistening agent, moisture content, culture conditions and inducers on laccase production. Moreover, laccase production capability of this fungus in a model of tray type fermenter was also tested under optimum condition. The activity and stability of the crude laccase was determined and its dye decolorization potential was also investigated using Remazol Brilliant Blue R (RB19).

2. Materials and methods

2.1. Fungal strain

Newly isolated *Ganoderma lucidum* was used as the main fungal strain in the study. This strain was cultivated on Sabouraud Dextrose Agar (SDA) plates at 4 °C and sub-cultivated monthly.

2.2. Solid substrates

Various agro-industrial wastes and residues like wheat bran, waste leaves (*Platanus orientalis*), poplar sawdust, walnut shell, pine cone, wheat straw and corn cob were used. They were dried at 50 °C before the experiments.

2.3. Moistening agent

Sterile distilled water was used directly or it was prepared as distilled water containing yeast extract (1, 5 and 20 g/L) or distilled water containing CuSO₄.5H₂O (1, 5 and 10 mM) for testing the possible role of yeast extract and copper.

2.4. Preparation of inoculum, solid media and solid state fermentation

The SSF cultivations were performed in flasks containing 5 g wheat bran/15 mL distilled water, 10 g walnut shell/7mL distilled water, 5 g pine cone/10mL distilled water, 5 g waste leaves/15mL distilled water, 4 g poplar sawdust/15mL distilled water, 3 g corn cob/15mL distilled water and 3 g wheat straw/15mL distilled water. To test the effect of soy flour or waste leaves on laccase production, wheat bran+soy flour (WB+SF) media or wheat bran+waste leaves media were prepared in different

ratios (1:1, 2:1, 4:1, 9:1) and moistened with the moistening agent. All these media were autoclaved at 121°C for 45 min.

The solid media were inoculated with the homogenized mycelial pellets. For preparing these homogenized mycelial pellets, *G. lucidum* incubated in a 100 mL volume of Sabouraud dextrose broth (SDB) for 5 days was homogenized and the prepared solid media, as stated above, were inoculated with 2 mL of these homogenized mycelial pellets. The cultures were incubated statically at 30 °C for 5 days unless otherwise indicated. After incubation period, distilled water in a volume of 40 was added into solid cultures. Then these cultures were agitated at 200 rpm and 30 °C for 1 hour. After that, they were filtered and centrifuged. The obtained supernatants were used for detection the laccase activity. The effect of temperature (20 °C-40 °C), pH (3.0-7.0) and moisture content (50–85%) on laccase production was also tested.

Tray type fermenter was also tested for laccase production. Glass container in the dimension of 15 cm x 27 cm was used as a tray type fermenter. The wheat bran+soy flour (w/w, 1:1) media were used and these media were moistened with distilled water or distilled water containing 10 mM copper. These prepared media were autoclaved at 121 °C for 45 min. Then, the media were inoculated with 20 mL of inoculum prepared as stated above and they were incubated statically at 30 °C for 5 days. After the incubation, 400 mL of distilled water was added into the solid cultures and they were agitated at 30 °C and 200 rpm for 1 hour. After that, these cultures were filtered, centrifuged and supernatants were utilized for detection the laccase activity.

2.5. Detection of laccase production by agar plate method

Laccase production ability of this strain was assayed on Sabouraud Dextrose Agar medium containing 0.5 mM 2,2'-azino-di-[3-ethyl-benzo-thiazolin-sulphonate] (ABTS). The mycelia in 10 mm diameter was inoculated on agar plates containing ABTS and then they were incubated at 30 °C. The laccase production ability of this fungus was determined according to the color production based on the ABTS oxidation.

2.6. Laccase activity assay

Laccase activity was measured by the oxidation of ABTS at 420 nm. The reaction was monitored using 100 µL of 0.5 mM ABTS in the reaction mixture including sodium acetate buffer (100 mM, pH 5.0) and appropriate amount of supernatant. The enzyme amount oxidizing 1 µmol substrate in a minute was expressed as 1 unit [5, 13].

2.7. Effect of various parameters on activity and stability of crude laccase

The optimum pH of this crude laccase was assayed in a pH ranging from 2.0 to 7.0 at 30 °C for a minute. For pH stability experiments, it was firstly incubated in the range of 3.0-9.0 pH for various times (0-24 h) and then the enzyme activity was detected.

For testing the effect of temperature on crude laccase activity, the activity was determined in different temperatures ranging from 20 °C to 85 °C for 1 minute. Its thermal stability was tested by incubating it at 4–80 °C for various times (0-24 h) and then cooled at ice bath. After cooling, the laccase activity was determined at 30 °C as stated in laccase activity assay section.

2.8. Dye decolorization by crude laccase

Dye decolorization activity of the enzyme was tested using an anthraquinone group dye, Remazol Brilliant Blue R (RBBR) (RB 19). The decolorization was determined at OD₅₉₂.

2.9. Effect of various parameters on dye decolorization by crude laccase

For testing the effect of pH on dye decolorization, studies were researched at varied pH values (2.5-6.0) and the decolorization activity was measured spectrophotometrically at 30 °C by using 100 mg/L dye and 100 µL of the crude enzyme. To determine the effect of temperature on dye decolorization, 100 µL of enzyme source was added into buffer (pH 3.0) containing 100 mg/L of the dye and an absorbance change was detected at different temperatures (40, 50 and 60 °C).

Different amounts of crude enzyme (50-400 µL) were used to determine the effect of enzyme amount on dye decolorization. The crude enzyme was added into the buffer (pH 3) containing 100 mg/L dye and the decolorization was determined for 20 min.

To determine the effect of dye concentration on color removal, 100 µL of enzyme was added into the buffer containing different concentrations (50-400 ppm) of RB19 (pH 3) and decolorization at 592 nm was determined at 40 °C.

Dye decolorization was expressed as % color removal against to control. All values were calculated as the mean of 3 repetitions.

2.10. Laccase determination by native polyacrylamide gel electrophoresis

Native polyacrylamide gel electrophoresis was used in order to show the presence of laccase enzyme and for this aim, crude enzyme was loaded on gel and electrophoresis was performed at 40 mA for about 1 hour. When the electrophoresis step is completed, the gel was incubated with sodium acetate buffer (pH 4.8) containing ABTS at 40 °C for detection the laccase enzyme [4].

3. Results and discussion

3.1. Laccase production of *G. lucidum* on agar plate containing laccase substrate

Firstly, laccase production ability of this newly isolated strain was tested on SDA medium containing ABTS as a laccase substrate. As shown Figure 1, the purple zone occurring around the mycelium was the indication of laccase production due to the oxidation of ABTS.



Figure 1. ABTS oxidation by *G. lucidum* on agar plates.

After understanding that this strain can produce laccase enzyme, the effect of the solid substrate, moisture content, temperature and initial pH on laccase production was investigated [5].

3.2. Effect of solid substrate on laccase production

SSF is defined as a system in which the substrate plays role as carbon and energy source. [7]. Lignocellulosic wastes/raw materials and food industry wastes are widely used as solid substrate during SSF. They serve as support materials and nutritional sources [5, 14]. Furthermore, the use of these wastes in their natural forms helps to prevent environmental pollution. Many of these wastes include lignin, cellulose and hemicelluloses, act as inducers of ligninolytic activity [15]. To determine the most effective substrate for the effective laccase production, various solid substrates such as wheat bran, waste walnut shells, waste pine cone, waste poplar sawdust, waste leaves, waste corn cobs and waste wheat straw were used. This strain grew well in wheat bran medium (Figure 2c) and wheat bran was detected as the most effective substrate for laccase production with 2814 ± 105 U/L laccase activity (Table 1). Therefore, wheat bran was chosen as the suitable substrate in the next steps of study. Figure 2 (a-d) shows photograph and scanning electron microscope (SEM) micrographs of fungus cultivated and uncultivated wheat bran media.

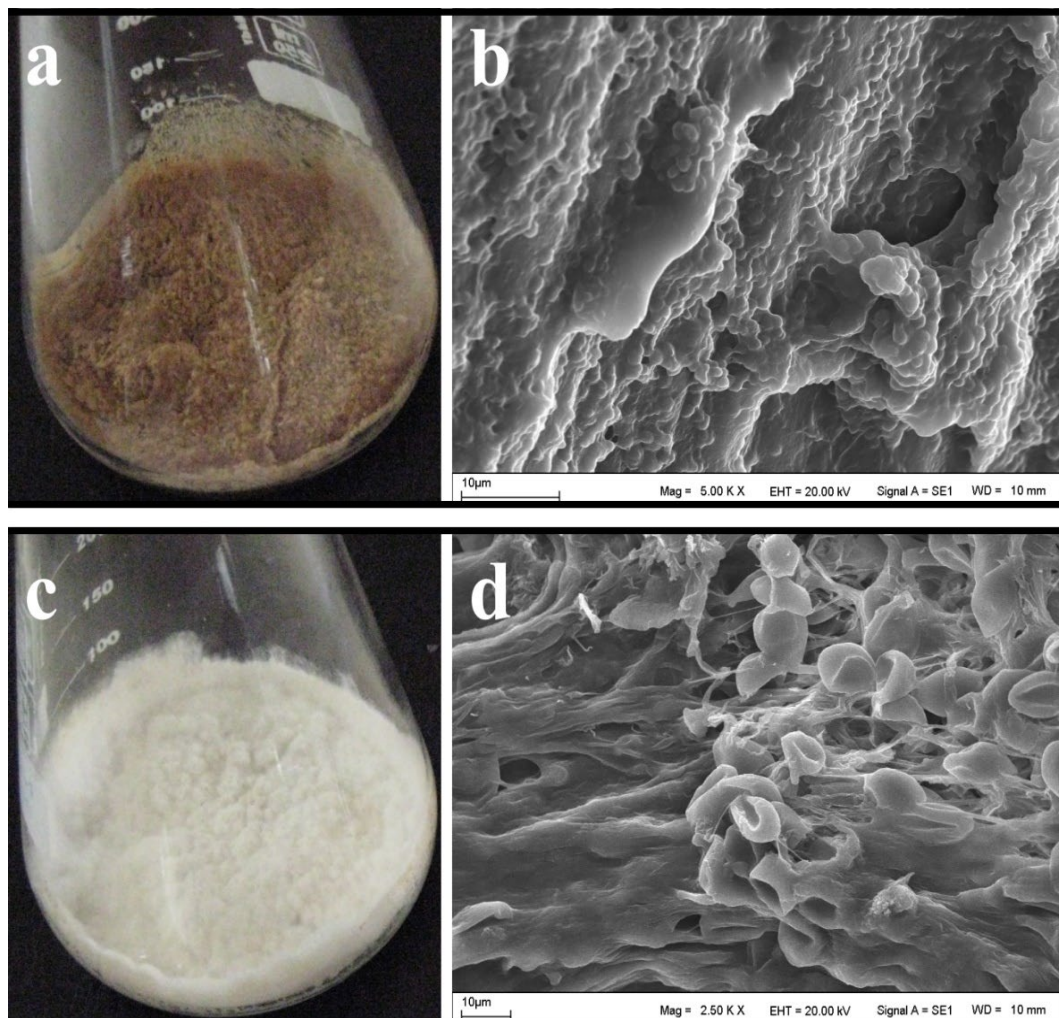
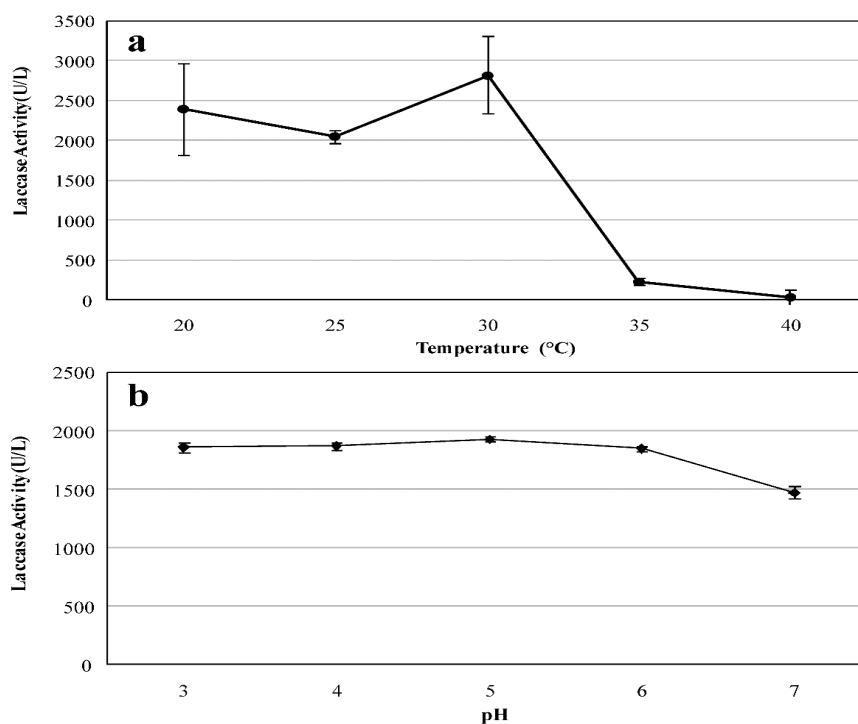


Figure 2. (a) Photograph and (b) SEM micrograph of the wheat bran moistened with distilled water, (c) photograph and (d) SEM micrograph of *G. lucidum* cultivated on wheat bran medium.

Table 1. Laccase activity of the solid substrate cultures of *G. lucidum* on the 5th day.

Solid Substrate	Laccase Activity (U/L)
Wheat bran	2813.7 ± 104.97
Walnut shell	104.0 ± 7.46
Pine cone	873.2 ± 114.34
Poplar sawdust	182.0 ± 26.99
Waste leave	132.0 ± 9.49
Corn cob	100.7 ± 13.35
Wheat straw	171.6 ± 10.43

Wheat bran is an important carbon source and it contains hemicellulose, starch, cellulose, protein, lignin and also phenolic compounds such as ferulic, kumaric, syringic, gentisic and caffeic acid [16, 17]. Phenolic compounds are important inducers of enzymes such as laccase [18]. It has been reported that *Pleurotus pulmonarius* could produce laccase during SSF with wheat bran as solid substrate [19]. The laccase activity for *Ganoderma* sp. was reported as 974 U/gDs in the wheat bran medium under SSF conditions [20].

**Figure 3.** Effect of (a) temperature and (b) pH on laccase production of *G. lucidum* on wheat bran medium moistened with distilled water, after 5 days of incubation.

3.3. Effect of some physiological parameters on laccase production

Temperature, pH and moisture content are significant factors for fungal laccase production during SSF. Because temperature is a critical factor for enzyme production, temperature values ranging 20-40 °C were tested and the optimum temperature was determined as 30 °C (Figure 3a). pH of the medium is another important factor for SSF. Filamentous fungi optimally grows between pH 3.8 and 6.0 [14] and each microorganism has the optimum pH range for high amount of enzyme production. In this study, pH ranging of 3.0-7.0 was tested and high enzyme activities were obtained at all pH values tested (Figure 3b).

SSF involves the microbial growth process on solid substrates without free water. Optimization of initial moisture level in SSF is important for substrate utilization and laccase production [21]. In this study, the highest laccase activity was detected on wheat bran medium with 75% moisture content. With lower (50%) and higher (85%) moisture levels, laccase activity was found to decrease significantly. If the amount of water is insufficient, diffusion of solvent and gas does not occur effectively and thus cell metabolism may slow down or stop. Low moisture content reduces nutrient diffusion, microbial coagulation, enzyme stability and substrate accessibility, whereas at high moisture level gas transfer is limited [14, 22]. Revankar et al. [20] tested the various moisture contents (40% -80%) and found that 70% was suitable for *G. lucidum* incubated on wheat bran medium.

3.4. Effect of inducers and additional substrates on laccase production

The effect of inducers and additional substrates such as soy flour, waste leaves, malt extract and copper on laccase production was tested. Soy flour is an important source of protein. In order to induce laccase activity, soy flour (SF) was added into the wheat bran (WB) medium at various ratios and the ratio of 1:1 induced the laccase production (Figure 4a). The production of laccase activity was only 2814 ± 105 U/L in the wheat bran medium but it increased to 4080 ± 826 U/L in the medium containing soy flour at a ratio of 1:1. Similarly, Aydinoglu and Sargin [23] reported the inducing effect of soy flour.

The effect of addition of various waste leaves into wheat bran media on laccase production of *G. lucidum* was also tested, but waste leaves did not show any positive effect on laccase production. Yeast extract is an organic nitrogen source and induces mycelial growth and also contains amino acids and vitamins which are effective in production and laccase synthesis [24, 25]. In our study, no inducing effect of yeast extract on laccase production was detected (Figure 4b). Negative effects of high yeast extract concentrations on enzyme production have also been reported by Mehta et al. [26].

Copper is an efficient inducer in laccase production. However, its inducing amount varies depending on the fungi or strain [5, 13, 27]. For this reason, the effect of various concentrations of copper on laccase production of this strain was also investigated. As shown in figure 4c, while the copper concentrations of 1 mM and 5 mM showed no inducing effect on laccase production, 10 mM copper concentration highly induced the laccase production and 1.8 times higher (5199 ± 133 U/L) laccase activity was determined in wheat bran medium with 10 mM copper than the activity determined in the medium without copper (2814 ± 105 U/L). Boran and Yesilada [5] reported that wheat bran media moistened with olive oil mill wastewater and vinasse containing copper have positive effect on laccase production of *Funalia trogii* and *Trametes versicolor*.

Zymogram study of the crude laccase source obtained from WB+SF medium supplemented with 10mM copper was also carried out by native polyacrylamide gel electrophoresis. The presence of laccase was investigated on gel by performing the activity staining with ABTS. Zymogram analysis showed only a single activity band for crude laccase (Figure 4d).

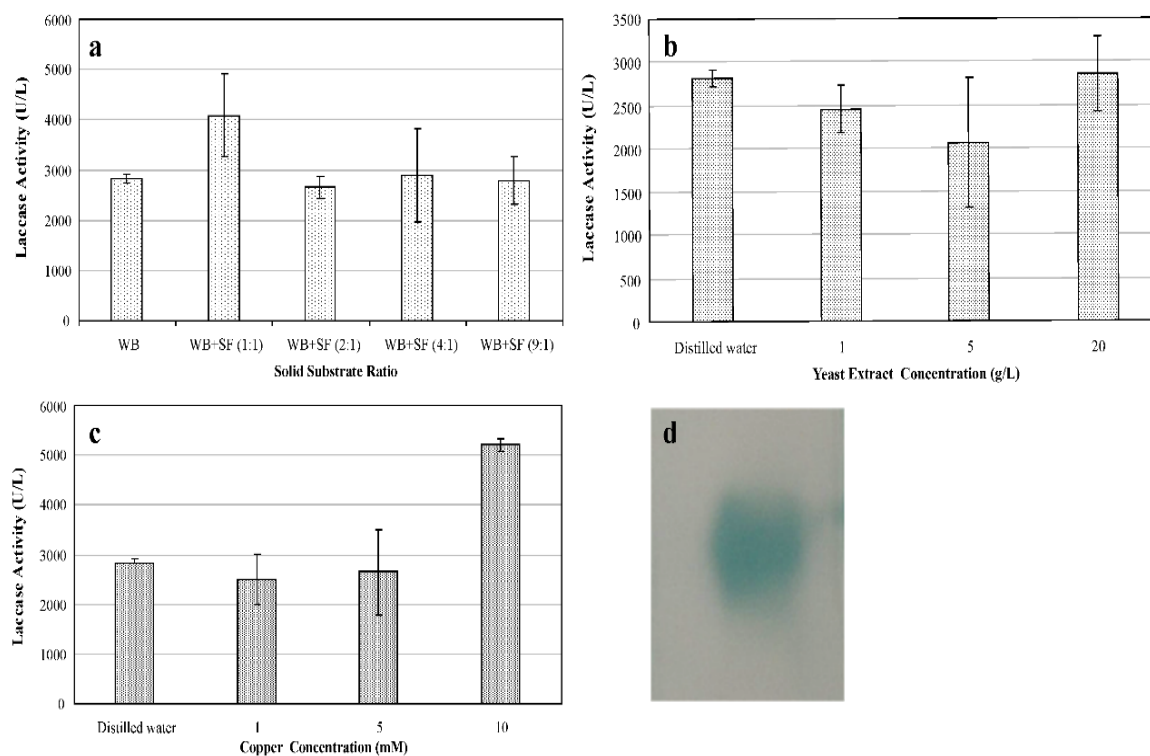


Figure 4. Effect of (a) solid substrate ratio (b) yeast extract concentration (c) copper concentration on laccase activity after 5 days of incubation and (d) zymogram of crude laccase. WB: Wheat bran, SF: Soy flour

3.5. SSF applications in tray type fermenter

Tray-type fermenter is commonly used in SSF processes [28]. This type of fermenter can be used for laccase production by filamentous fungi [29]. The laccase activity was 1582 ± 276 U/L in this medium moistened with distilled water without copper, but it was 2008 ± 826 U/L for cultures moistened with distilled water containing 10 mM copper.

3.6. Activity and stability studies by crude laccase of *G. lucidum*

Various factors such as pH and temperature effect the activity and stability of the enzymes. The efficiency of laccase enzyme in application depends on these factors. Therefore to detect the optimum temperature and pH values for enzyme activity is important. Firstly, the optimum temperature and pH values for crude laccase activity were determined. For this aim, the activities were determined at temperature ranges of 20-85 °C and pH 5.0. A continuous increase in enzyme activity was observed from 20 °C to 70 °C and the highest activity was detected at 70 °C. While the laccase activity was 3546 ± 173 U/L at 20 °C, it was increased remarkably to 12280 ± 75 U/L at 70 °C (Figure 5a). After 70 °C, the activity of began to decrease. De Souza et al. (2002) reported that the crude laccase enzyme of *Pleurotus pulmonarius* is active at 50-55 °C. In another work, Stoilova et al. [30] obtained the highest activity for *Trametes versicolor* crude laccase at 45 °C. Yeşilada et al. [31] reported the highest activity at 80-95 °C for crude laccase from *Funalia trogii* ATCC 200800. pH is an important factor for enzyme activity. Hence, the enzyme activity was also investigated at pH values between 2.0-7.0. As shown in figure 5b, the enzyme activity was high at pH values between 2.0-4.5 and then it decreased. Particularly, at values above pH 4.5, the activity was significantly reduced. Maximum pH activity was detected at pH 3 (Figure 5b).

Stability of the protein at high temperatures and different pH values is important for the use of enzymes in biotechnological and industrial processes [32]. Therefore, stability at high temperatures during industrial applications is the desired property of the enzymes [33]. Most of the white rot fungal laccases are active at 30-50 °C and rapidly lose their activity at temperatures over 60 °C [34]. Therefore, temperature and pH stabilities of this crude enzyme were also investigated (Figure 5c-d). The crude laccase enzyme retained about 100% of its activity for 30 min and 37 % for 120 min at 70 °C (Figure 5c). Ozsolun et al. [35] reported that the enzyme of *Trametes versicolor* ATCC200801 has lost its stability at temperatures above 50 °C. Yeşilada et al. [31] found that crude laccase of *Funalia trogii* ATCC 200800 was stable about 2 h and 5 min at 60°C and 70°C, respectively. The crude enzyme obtained here, remained highly stable for 6 hours at all pH values (Figure 5d). Similarly, Yeşilada et al. [31] reported that the enzyme activity of crude laccase from *Funalia trogii* ATCC 200800 was highly stable at all pH values (pH 3.0-9.0).

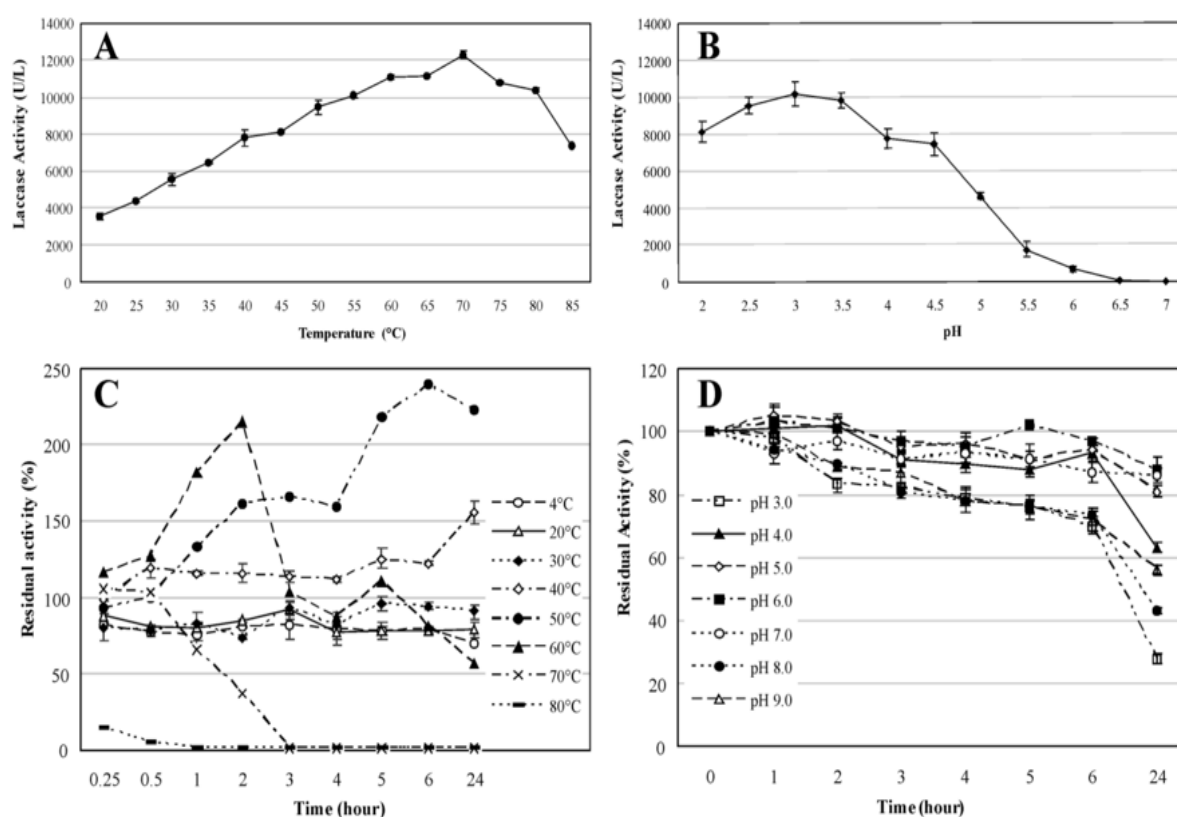


Figure 5. Effect of (a) temperature and (b) pH on activity and (c) temperature, (d) pH on stability of the crude laccase.

3.7. Dye decolorization activity by crude laccase of *G. lucidum*

The catalytic potential of enzyme source was very important for application. There are different studies on decolorization of various synthetic dyes with the enzymes of white rot fungi [36, 37]. Especially, laccase enzymes are used effectively in many color removal studies [10, 16]. For this reason, here, Remazol Brilliant Blue R (RBBR) (RB19), an anthraquinone dye, was chosen as the model dye to test catalytic property of this crude enzyme.

Firstly, the effect of the initial pH on decolorization of RB 19 was investigated. The best color removal as 22% was detected at pH 3.0 and 30 °C (Table 2). It has been reported that laccase of *G.*

lucidum is effective at acidic pH values [16]. Similarly, in our study, color removal was higher at low pH values (pH 2.5-4.0), and decolorization decreased at pH values above 4.0.

Table 2. Effect of pH and temperature on dye decolorization

		Dye decolorization (%) after:	
		60 sec	300 sec
pH values	2.5	9.10 ± 0.18	17.24 ± 0.61
	3.0	12.71 ± 0.43	22.38 ± 0.38
	3.5	11.13 ± 1.02	20.25 ± 0.77
	4.0	10.26 ± 0.19	17.02 ± 0.28
	4.5	9.64 ± 0.33	14.36 ± 0.47
	5.0	8.55 ± 1.04	11.06 ± 1.08
	5.5	8.59 ± 0.14	10.05 ± 0.51
	6.0	7.64 ± 0.33	8.01 ± 0.33
Temperature (°C)	30	12.71 ± 0.43	22.38 ± 0.38
	40	13.22 ± 0.35	28.98 ± 0.35
	50	14.91 ± 0.17	29.95 ± 0.21
	60	14.51 ± 0.20	18.82 ± 0.38

Initial dye concentration: 100 mg/L, Enzyme amount: 100 µL

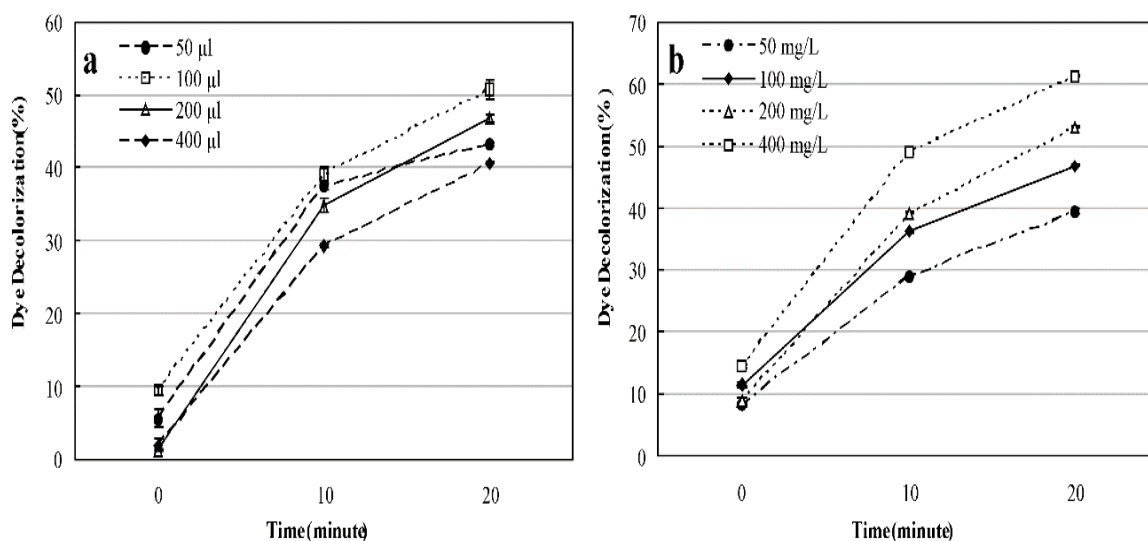


Figure 6. Effect of (a) enzyme amount and (b) dye concentration on decolorization.

The effect of temperature on decolorization was tested at pH 3.0 with 100 mg/L of dye and 100 µL of enzyme amount. As shown table 1, the decolorization activities obtained at 40 °C and 50 °C after 300 sec was 29% and 30%, respectively.

The effect of the crude enzyme amount and dye concentration on dye decolorization was also tested. The decolorization of the dye with the enzyme amounts of 50-400 µL was above 40%. The highest decolorization was obtained with 100 µL of crude enzyme (Figure 6a). Therefore, this enzyme amount was detected as the most effective enzyme amount for dye decolorization.

In order to test the effect of the dye concentration on decolorization efficiency, various dye amounts (50-400 mg/L) were incubated with 100 µL laccase enzyme amount at 40 °C and pH 3.0. It was observed that when the dye concentration increased, the efficiency of color removal increase. As shown figure 6b, the most effective color removal was found as 61% at dye concentration of 400 mg/L.

4. Conclusion

The newly isolated *G. lucidum* was detected as a good laccase producer under SSF condition. The produced laccase enzyme had high activity between pH 2.0 to 6.0 which the optimum was pH 3.0. It also showed high activity at 70 °C. This is important for applications where high temperature is needed. The crude laccase enzyme was stable at high temperature values such as 50 °C and this can make the process more advantageous in terms of biotechnological applications. It was possible to use it for decolorization of dyes such as RB 19 without any mediator. It is advantageous to use the crude enzyme in applications, without expensive purification processes.

Funding

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

CRedit authorship contribution statement

Filiz Boran: Experimental stage, Conceptualization, Methodology, Writing - original draft, Investigation, Software, Data curation. Özfer Yesilada: Conceptualization, Visualization, Writing - original draft, Methodology.

Declaration of competing interest

The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgements

We thank to İnönü University Research Fund (Project no: 2010-118) for financial support of this study.

References

- [1] Singhanian RR, Patel AK, Soccol CR, Pandey A. Recent advances in solid-state fermentation. *Biochemical Engineering Journal* 2009;44:13-8.

- [2] Sharma RK, Arora DS. Production of lignocellulolytic enzymes and enhancement of in vitro digestibility during solid state fermentation of wheat straw by *Phlebia floridensis*. *Bioresource Technology* 2010;101:9248-53.
- [3] Ooijkaas LP, Weber FJ, Buitelaar RM, Tramper J, Rinzema A. Defined media and inert supports: their potential as solid-state fermentation production systems. *Trends Biotechnology* 2000;18:356-60.
- [4] Birhanli E, Yesilada O. Enhanced production of laccase in repeated-batch cultures of *Funalia trogii* and *Trametes versicolor*. *Biochemical Engineering Journal* 2010;52:33-7.
- [5] Boran F, Yesilada O. Enhanced Production of Laccase by Fungi under Solid Substrate Fermentation Condition. *Bioresources* 2011;6:4404-16.
- [6] Adekunle AE, Zhang C, Guo C, Liu CZ. Laccase production from *Trametes versicolor* in solid-state fermentation of steam-exploded pretreated cornstalk. *Waste and Biomass Valorization* 2017; 8(1):153-159.
- [7] Annuar MSM, Murthy SS, Sabanatham V. Laccase production from oil palm industry solid waste: Statistical optimization of selected process parameters. *Engineering in Life Science* 2010;10(1), 40-48.
- [8] Elisashvili V, Penninckx M, Kachlishvili E, Tsiklauri N, Metreveli E, Kharziani T, Kvesitadze G. *Lentinus edodes* and *Pleurotus species* lignocellulolytic enzymes activity in submerged and solid-state fermentation of lignocellulosic wastes of different composition. *Bioresource Technology* 2008;99(3), 457-462.
- [9] Yesilada O, Cing S, Asma D. Decolourisation of the textile dye astrazon red FBL by *Funalia trogii* pellets. *Bioresource Technology* 2002;81:155-7.
- [10] Yeşilada O, Birhanli E, Ercan S, Özmen N. Reactive dye decolorization activity of crude laccase enzyme from repeated-batch culture of *Funalia trogii*. *Turkish Journal of Biology* 2014;38:103-10.
- [11] Chicatto JA, Rainert KT, Goncalves MJ, Helm CV, Altmajer-Vaz D, Tavares LBB. Decolorization of textile industry wastewater in solid state fermentation with Peach-Palm (*Bactris gasipaes*) residue. *Brazilian Journal of Biology* 2018;78(4), 718-727.
- [12] Zilly A, Coelho-Moreira JD, Bracht A, de Souza CGM, Carvajal AE, Koehnlein EA, Peralta RM. Influence of NaCl and Na₂SO₄ on the kinetics and dye decolorization ability of crude laccase from *Ganoderma lucidum*. *Int. Biodeterioration and Biodegradation* 2011;65 (2), 340-344.
- [13] Birhanli E, Yesilada O. Increased production of laccase by pellets of *Funalia trogii* ATCC 200800 and *Trametes versicolor* ATCC 200801 in repeated-batch mode. *Enzyme and Microbial Technology* 2006;39:1286-93.
- [14] Krishna C. Solid-state fermentation systems - An overview. *Critical Reviews in Biotechnology* 2005;25:1-30.
- [15] Osma JF, Herrera JLT, Couto SR. Banana skin: A novel waste for laccase production by *Trametes pubescens* under solid-state conditions. Application to synthetic dye decolouration. *Dyes and Pigments* 2007;75(1), 32-37.
- [16] Murugesan K, Nam IH, Kim YM, Chang YS. Decolorization of reactive dyes by a thermostable laccase produced by *Ganoderma lucidum* in solid state culture. *Enzyme and Microbial Technology* 2007;40:1662-72.
- [17] Maes C, Delcour JA. Alkaline hydrogen peroxide extraction of wheat bran non-starch polysaccharides. *Journal of Cereal Science* 2001;34:29-35.
- [18] Farnet AM, Criquet S, Cigna M, Gil G, Ferre E. Purification of a laccase from *Marasmius quercophilus* induced with ferulic acid: reactivity towards natural and xenobiotic aromatic compounds. *Enzyme and Microbial Technology* 2004;34:549-54.
- [19] De Souza CGM, Zilly A, Peralta RM. Production of laccase as the sole phenoloxidase by a Brazilian strain of *Pleurotus pulmonarius* in solid state fermentation. *Journal of Basic Microbiology* 2002;42:83-90.
- [20] Revankar MS, Desai KM, Lele SS. Solid-state fermentation for enhanced production of laccase using indigenously isolated *Ganoderma* sp. *Applied Biochemistry and Biotechnology* 2007;143:16-26.

- [21] Patel H, Gupte A, Gupte S. Effect of Different Culture Conditions and Inducers on Production of Laccase by a Basidiomycete Fungal Isolate *Pleurotus ostreatus* Hp-1 under Solid State Fermentation. *Bioresources* 2009;4:268-84.
- [22] Gervais P, Molin P. The role of water in solid-state fermentation. *Biochemical Engineering Journal* 2003;13(2-3), 85-101.
- [23] Aydinoglu T, Sargin S. Production of laccase from *Trametes versicolor* by solid-state fermentation using olive leaves as a phenolic substrate. *Bioprocess and Biosystems Engineering* 2013;36:215-22.
- [24] Zhu CW, Bao GW, Huang S. Optimization of laccase production in the white-rot fungus *Pleurotus ostreatus* (ACCC 52857) induced through yeast extract and copper. *Biotechnology and Biotechnological Equipment* 2016;30(1), 270-276.
- [25] Karp SG, Faraco V, Amore A, Letti LA, Soccol VT, Soccol CR. Statistical Optimization of Laccase Production and Delignification of Sugarcane Bagasse by *Pleurotus ostreatus* in Solid-State Fermentation. *Biomed Research International* 2015.
- [26] Mehta VJ, Thumar JT, Singh SP. Production of alkaline protease from an alkaliphilic actinomycete. *Bioresource Technology* 2006;97:1650-4.
- [27] Mäkelä MR, Lundell T, Hatakka A, Hilden K. Effect of copper, nutrient nitrogen, and wood-supplement on the production of lignin-modifying enzymes by the white-rot fungus *Phlebia radiata*. *Fungal Biology-Uk*. 2013;117:62-70.
- [28] Pandey A. Concise encyclopedia of bioresource technology. New York: Food Products Press; 2004.
- [29] Rosales E, Couto SR, Sanroman MA. Increased laccase production by *Trametes hirsuta* grown on ground orange peelings. *Enzyme and Microbial Technology* 2007;40:1286-90.
- [30] Stoilova I, Krastanov A, Stanchev V. Properties of crude laccase from *Trametes versicolor* produced by solid-substrate fermentation. *Advances in Bioscience and Biotechnology*. 2010;1:208-15.
- [31] Yeşilada O, Birhanli E, Özmen N, Ercan S. Highly stable laccase from repeated-batch culture of *Funalia trogii* ATCC 200800. *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2014;50:55-61.
- [32] Ulbrich-Hofmann R, Arnold U, Mansfeld J. The concept of the unfolding region for approaching the mechanisms of enzyme stabilization. *Journal of Molecular Catalysis B:Enzymatic* 1999;7:125-31.
- [33] Asgher M, Iqbal HMN, Asad MJ. Kinetic Characterization of Purified Laccase Produced from *Trametes versicolor* IBL-04 in Solid State Bio-Processing of Corncobs. *Bioresources* 2012;7:1171-88.
- [34] Nagai M, Sato T, Watanabe H, Saito K, Kawata M, Enei H. Purification and characterization of an extracellular laccase from the edible mushroom ***Lentinula edodes***, and decolorization of chemically different dyes. *Applied Microbiology and Biotechnology* 2002;60:327-35.
- [35] Ozsolen F, Aytar P, Gedikli S, Çelikdemir M, Ardiç M, Çabuk A. Enhanced Production and Stability of Laccase Using Some Fungi on Different Lignocellulosic Materials *JABS*. 2010;4:69-78.
- [36] Verma P, Madamwar D. Production of ligninolytic enzymes for dye decolorization by cocultivation of white-rot fungi *Pleurotus ostreatus* and *phanerochaete chrysosporium* under solid-state fermentation. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 2002;102-103:109-18. Epub 2002/10/25.
- [37] Asgher M, Batool S, Bhatti HN, Noreen R, Rahman SU, Asad MJ. Laccase mediated decolorization of vat dyes by *Coriolus versicolor* IBL-04. *International Biodeterioration and Biodegradation* 2008;62:465-70.