



# ADIYAMAN ÜNİVERSİTESİ

## Mühendislik Bilimleri Dergisi

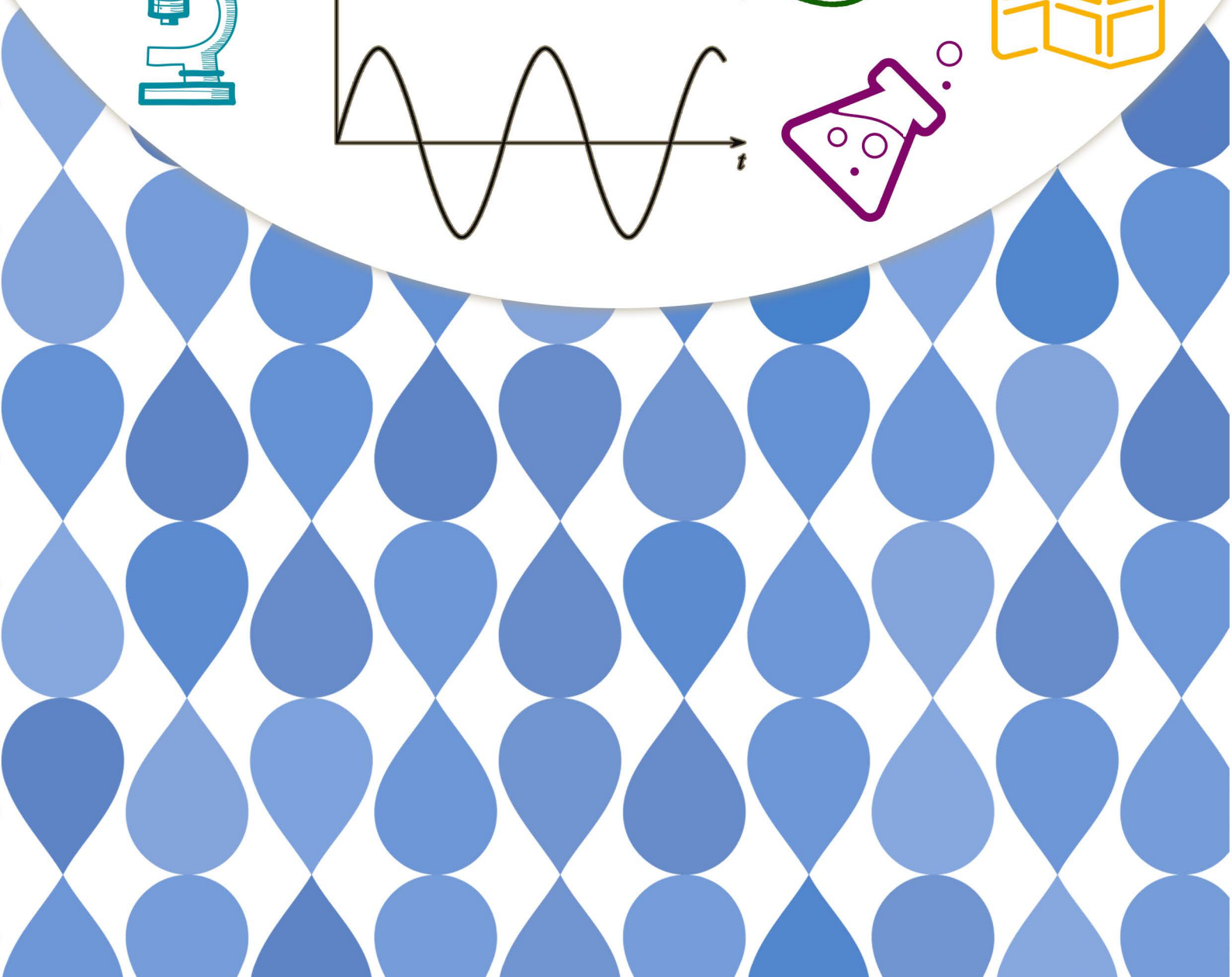
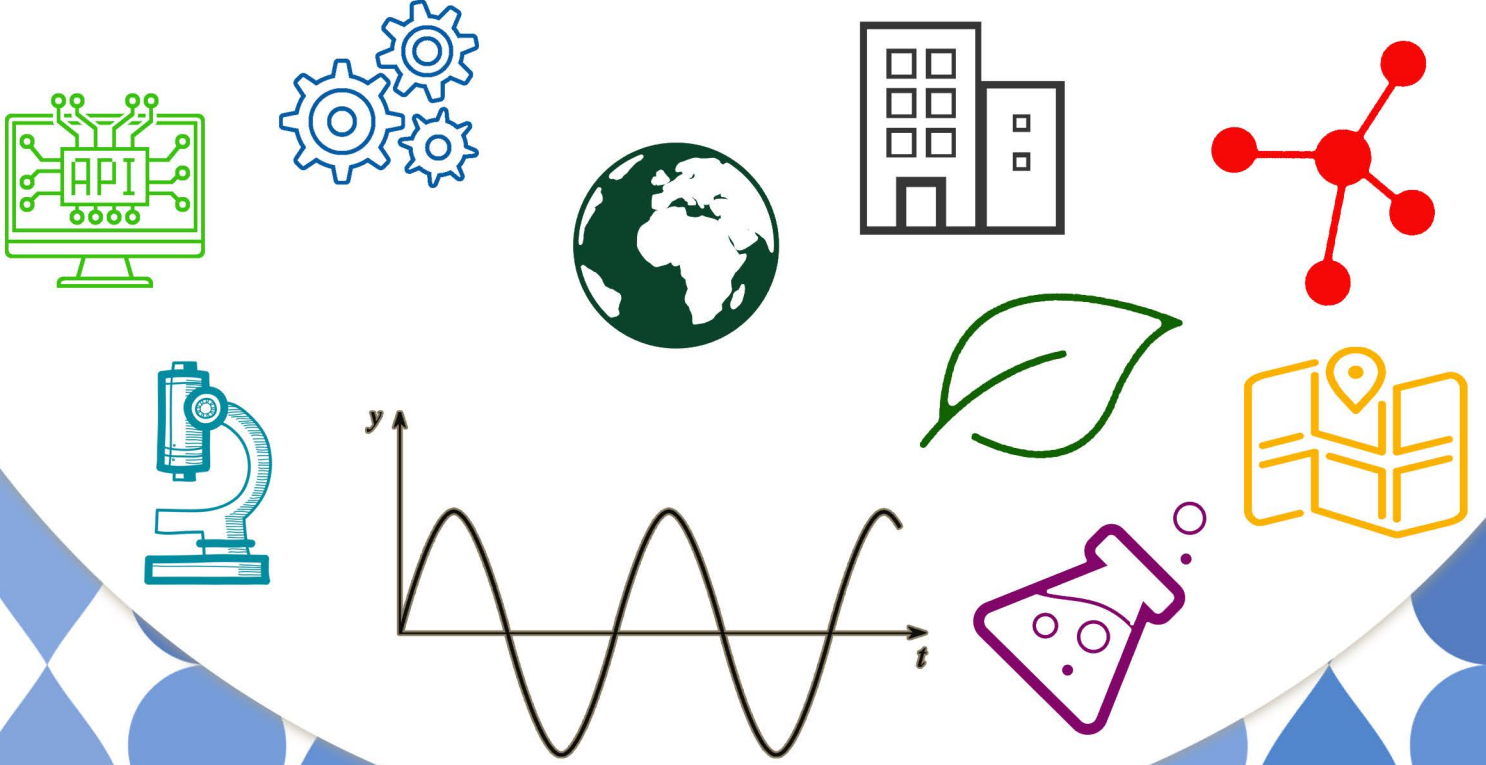
Journal of Engineering Science  
of Adiyaman University

ISSN: 2149-0309

CİLT  
VOLUME **11**

SAYI  
ISSUE **22**

NİSAN  
APRIL **2024**



# ADIYAMAN ÜNİVERSİTESİ

## Mühendislik Bilimleri Dergisi

### *Journal of Engineering Science of Adiyaman University*

ISSN: 2149-0309

#### **Dergi Yöneticisi**

Prof. Dr. Murat PALA

**Cilt:11 Sayı:22**

#### **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

Prof. Dr. Harun TÜRKMENLER / Alan Editörü

Doç. Dr. Şerif ÇİTİL / Alan Editörü

Doç. Dr. Miraç UÇKUN / Alan Editörü

Dr. Öğr. Üyesi Saadin OYUCU / Alan Editörü

Dr. Öğr. Üyesi Musa EŞİT / Alan Editörü

Arş. Gör. Abuzer DOĞAN / Alan, Mizanpaj ve Dil 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-Prof.Dr. Halef DİZLEK .....(Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi)
- 13-Doç. Dr. Yaşar AYZAZ ..... (İnönü Üniversitesi)
- 14-Prof. 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	2021-Devam Ediyor
Prof. Dr. Atilla AKKOYUNLU	akkoyun@boun.edu.tr	Çevre Bilimleri ve Mühendisliği	2021-Devam Ediyor
Doç. Dr. Bayram YURT	byurt@bingol.edu.tr	Gıda Bilimleri ve Mühendisliği	2021-Devam Ediyor
Dr. Öğr. Üyesi Faruk KÜRKER	fkurker@adiyaman.edu.tr	Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Elektrik Enerjisi ve Güç Sistemleri, Elektrik Tesisleri	2021-Devam Ediyor
Doç. Dr. Mehmet Fatih DİLEKOĞLU	dilekoglu@harran.edu.tr	Çevre Bilimleri ve Mühendisliği, Çevre Kimyası, Su Kaynakları Yönetimi, Su ve atıksu arıtma	2021-Devam Ediyor
Prof. Dr. Harun TÜRKMENLER	hturkmenler@adiyaman.edu.tr	Arıtma Tesisi Tasarımı, Çevre Kimyası, Su ve atıksu arıtma, Toprak Kirliliği ve Kontrolü, Yenilenebilir Enerji Kaynakları	2021-Devam Ediyor
Prof. Dr. İsmail BOZKURT	ibozkurt@adiyaman.edu.tr	Makine Mühendisliği, Enerji, Termodinamik, Yenilenebilir Enerji Sistemleri	2021-Devam Ediyor
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	2021-Devam Ediyor
Doç. Dr. Miraç UÇKUN	m.uckun@adiyaman.edu.tr	Gıda Bilimleri ve Mühendisliği	2021-Devam Ediyor
Dr. Öğr. Üyesi Musa EŞİT	mesit@adiyaman.edu.tr	Atmosfer Bilimleri, Hidroloji	2021-Devam Ediyor
Doç. Dr. Mustafa ASLAN	maslan@harran.edu.tr	Su ve atıksu arıtma, Yenilenebilir Enerji Kaynakları	2021-Devam Ediyor
Dr. Öğr. Üyesi Saadin OYUCU	saadinoyucu@adiyaman.edu.tr	Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği, Bilgisayar Sistem Yazılımı, Bilgisayar Yazılımı, Gömülü Sistemler, Veri Tabanları, Yapay Zeka	2021-Devam Ediyor
Doç. Dr. Senem TEKİN	senemtekin@adiyaman.edu.tr	Yer Bilimleri ve Mühendisliği, Deprem, Uygulamalı Jeoloji	2021-Devam Ediyor
Doç. Dr. Şerif ÇİTİL	scitil@adiyaman.edu.tr	Makine Mühendisliği	2021-Devam Ediyor
Doç. Dr. Seval UYANIK	suyanik@adiyaman.edu.tr	Tekstil Bilimleri ve Mühendisliği	2021-Devam Ediyor
Doç. Dr. Mihrimah ÖZMEN	mihrimah@erciyes.edu.tr	Endüstri Mühendisliği, Yöneylem Araştırması	2021-Devam Ediyor
Prof. Dr. Tanju TEKER	tanjuteker@cumhuriyet.edu.tr	İmalat Mühendisliği, Malzeme Teknolojileri	2021-Devam Ediyor
Prof. Dr. Zuhale KARAGÖZ	zgent@adiyaman.edu.tr	Metaller ve Malzeme Mühendisliği	2021-Devam Ediyor
Arş. Gör. Abuzer DOĞAN	abuzerdogan@adiyaman.edu.tr	Bilgisayar Mühendisliği	2021-Devam Ediyor



# İÇİNDEKİLER- CONTENTS

1- COMPARISON OF MECHANICAL PROPERTIES OF WOVEN HYBRID METALLIC FABRICS WITH DIFFERENT ARRANGEMENT OF INTERMEDIATE ALUMINUM SHEETS– “Research Article”

ARA ALÜMİNYUM LEVHALAR İÇEREN FARKLI DİZİLİME SAHİP DOKUMA HİBRİT METALİK KUMAŞLARDA MEKANİK ÖZELLİKLERİN KARŞILAŞTIRMASI– “Araştırma Makalesi”

Ali İhsan KAYA, Kaan Emre ENGİN, Şerif ÇİTİL ..... 1-17

2- DERİN AĞLAR İÇİN YENİ BİR BİRİMDİK DÜZGÜNLEŞTİRME YAKLAŞIMI – “Araştırma Makalesi”

A NEW ORTOGONAL REGULARIZATION APPROACH FOR DEEP NETWORKS – “Research Article”

Kazım FIRILDAK, Gaffari ÇELİK, Muhammed Fatih TALU ..... 18-34

3- THE EFFECTS OF LASER MICRO-ENGRAVING VARIABLES ON THE SURFACE CHARACTERISTICS OF THE Ti-6Al-7Nb ALLOY – “Research Article”

LAZER MİKRO-OYMA DEĞİŞKENLERİNİN Ti-6Al-7Nb ALAŞIMININ YÜZEY ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ – “Araştırma Makalesi”

Sertan OZAN ..... 35-45

4- UNDAMPED FORCED VIBRATION ANALYSIS OF CASTELLATED STEEL BEAM WITH CIRCULAR, SQUARE AND PENTAGONAL WEB OPENINGS – “Research Article”

GÖVDESİNDE DAİRESEL, KARE VE BEŞGEN BOŞLUK BULUNDURAN PETEK KİRİŞLERİN SÖNÜMSÜZ ZORLANMIŞ TİTREŞİM ANALİZİ – “Araştırma Makalesi”

Maryam HASHM, Masihullah NOORI, Ahmad Reshad NOORI, Silda Gazi DOORI ..... 46-62

5- LSTM-ESA HİBRİT MODELİ İLE MR GÖRÜNTÜLERİNDEN BEYİN TÜMÖRÜNÜN SINIFLANDIRILMASI – “Araştırma Makalesi”

CLASSIFICATION OF BRAIN TUMOR FROM MR IMAGES WITH LSTM-CNN HYBRID MODEL – “Research Article”

Emrah ASLAN ..... 63-81

6- EVALUATION OF NOVEL PLANT-BASED MILK PRODUCED FROM MELON KERNEL – “Research Article”

KAVUN ÇEKİRDEĞİNDEN ÜRETİLEN YENİ BİTKİSEL SÜTÜN DEĞERLENDİRİLMESİ – “Araştırma Makalesi”

Çağlar Mert AYDIN .....82-92

7- TIBBİ ATIK BERTARAF TEKNİKLERİNİN SIFIR ATIK YAKLAŞIMI KAPSAMINDA DEĞERLENDİRİLMESİNE YÖNELİK ÇKKV MODEL ÖNERİSİ VE ÇÖZÜMÜ – “Araştırma Makalesi”

MCDM MODEL PROPOSAL AND SOLUTION FOR EVALUATION OF MEDICAL WASTE DISPOSAL TECHNIQUES WITHIN THE SCOPE OF ZERO WASTE APPROACH – “Research Article”

G.Nilay YÜCENUR, Tuba TURAN BAYRAM, Melisa KOÇ, Beyza SAĞIR, Kübra YILDIRIM.....93-109

8- TREND ANALYSIS OF METEOROLOGICAL PARAMETERS & DROUGHT ANALYSIS IN THE MURAT RIVER BASIN – “Research Article”

MURAT NEHRİ HAVZASINDA METEOROLOJİK PARAMETRELERİN TREND ANALİZİ VE KURAKLIK ANALİZİ – “Araştırma Makalesi”

Üveys YAMAN, Ayşe Yeter GÜNAL .....110-124

9- YOLOV9 İLE KAN HÜCRELERİNİN OTOMATİK TANIMLANMASI: OPTİMİZASYON ve ÖĞRENME ORANI ETKİLERİ – “Araştırma Makalesi”

AUTOMATIC IDENTIFICATION OF BLOOD CELLS WITH YOLOV9: OPTIMIZATION AND LEARNING RATE EFFECTS – “Research Article”

Zehra YÜCEL, Dilber ÇETİNTAŞ .....125-135

10- BURÇ, CONTA VE RULMAN UYGULAMALARI İÇİN SAF POLİ-TETRA-FLOR-ETİLEN VE BRONZ TAKVİYELİ POLİ-TETRA-FLOR-ETİLEN KOMPOZİTİN TRİBOLOJİK PERFORMANSLARININ KARŞILAŞTIRILMASI– “Araştırma Makalesi”

COMPARISON OF TRIBOLOGICAL PERFORMANCES OF PURE POLY-TETRA-FLUORO-ETHYLENE AND BRONZE REINFORCED POLY-TETRA-FLUORO-ETHYLENE COMPOSITE FOR BUSHING, GASKET AND BEARING APPLICATIONS – “Research Article”

Ahmet MASLAVI, Hüseyin ÜNAL, Salih Hakan YETGİN .....136-147

11- TRANSFER ÖĞRENME KULLANILARAK DERİ LEZYON GÖRÜNTÜLERİNDEN MAYMUN ÇIÇEĞİ HASTALIĞININ TESPİTİ– “Araştırma Makalesi”

MONKEYPOX DISEASE DETECTION FROM SKIN LESION IMAGES USING TRANSFER LEARNING – “Research Article”

Hüseyin FIRAT, Hüseyin ÜZEN .....148-164

12- EVALUATION OF AUSTEMPERING STUDY OF FERRITIC CAST IRON– “Research Article”

FERRİTİK DÖKME DEMİRİN ÖSTEMPERLEME ÇALIŞMASININ DEĞERLENDİRİLMESİ– “Araştırma Makalesi”

Tanju TEKER, S. Osman YILMAZ .....165-171

## COMPARISON OF MECHANICAL PROPERTIES OF WOVEN HYBRID METALLIC FABRICS WITH DIFFERENT ARRANGEMENT OF INTERMEDIATE ALUMINUM SHEETS

Ali İhsan KAYA<sup>1</sup>, Kaan Emre ENGİN<sup>2\*</sup>, Şerif ÇİTİL<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Adiyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Adiyaman, 02040, Türkiye

Geliş Tarihi/Received Date: 08.11.2023 Kabul Tarihi/Accepted Date: 19.03.2024 DOI: 10.54365/adyumbd.1384174

### ABSTRACT

In this study, hybrid metallic fabrics were produced by the traditional weaving method using 0.2 mm thick Aluminum (Al) 1005 H14 material and polyethylene fishing line (PL). During the production of hybrid metallic fabrics, a fishing line was used as a warp, and an Al 1005 H14 wire of the same thickness was used as a weft. The fabrics were cut into layers with dimensions of 30 mm width and 300 mm length. Each layer was bonded using FM® 73M structural adhesive. Laminates of hybrid composites with different arrangements of layers were fabricated with an Al 5005 H34 spacer sheet. The resulting laminates were cured by applying additional pressure in a temperature-controlled hydraulic press, after which the specimens were cut for tensile testing with a saw according to ASTM D3039 standard. The effect of Al 5005 H34 intermediate material on weight was determined. Tensile testing of three samples from each laminate group was performed and the results were analyzed. It has been observed that the mechanical properties of fabrics containing Al 1005 H14 and PL have improved, and it has been understood that it is possible to achieve good strength properties while reducing the weight of the material.

**Keywords:** Hybrid metallic fabric, FM® 73M Structural Adhesive, Aluminum, Polyethylene fishing line, Weaving

## ARA ALÜMİNYUM LEVHALAR İÇEREN FARKLI DİZİLİME SAHİP DOKUMA HİBRİT METALİK KUMAŞLARDA MEKANİK ÖZELLİKLERİN KARŞILAŞTIRMASI

### ÖZET

Bu çalışmada, 0.2 mm kalınlığında Alüminyum (Al) 1005 H14 malzeme ve polietilen misina (PL) kullanılarak geleneksel dokuma yöntemi ile hibrit metalik kumaşlar üretilmiştir. Hibrit metalik kumaşların üretimi sırasında çözgü olarak misina, atkı olarak ise aynı kalınlıkta Al 1005 H14 teli kullanılmıştır. Üretilen kumaşlar 30 mm genişlik ve 300 mm uzunluk boyutlarına sahip katmanlar halinde kesilmiştir. Her katman FM® 73M yapısal yapıştırıcı kullanılarak yapıştırılmıştır. Al 5005 H34 ara levha parçası ile katmanların farklı dizilimlerde olduğu hibrit kompozit laminatların imalatı yapılmıştır. Elde edilen laminatlar, ısı kontrollü bir hidrolik preste ek basınç uygulanarak kürlenmiş, sonrasında numuneler ASTM D3039 standardına göre çekme testi için kesilmiştir. Al 5005 H34 ara malzemesinin ağırlık üzerindeki etkisi belirlenmiştir. Her bir laminat grubundan üçer numunenin çekme testi gerçekleştirilmiş ve sonuçlar analiz edilmiştir. Al 1005 H14 ve PL içeren kumaşların mekanik özelliklerinin iyileştiği görülmüş ve bir yandan malzemenin ağırlığını azaltırken, aynı zamanda iyi mukavemet özelliklerine ulaşmanın mümkün olduğu anlaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Hibrit metalik kumaş, FM® 73M Yapısal Yapıştırıcı, Alüminyum, Polietilen misina, Dokuma

e-posta<sup>1</sup> : [alikaya@adiyaman.edu.tr](mailto:alikaya@adiyaman.edu.tr) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3040-5389>

\* e-posta<sup>2</sup> : [kengin@adiyaman.edu.tr](mailto:kengin@adiyaman.edu.tr) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6439-7700> (Sorumlu Yazar)

e-posta<sup>3</sup> : [scitil@adiyaman.edu.tr](mailto:scitil@adiyaman.edu.tr) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3714-3772>

## 1. Introduction

Because adhesive joints combine many types of materials and have good damping characteristics, high corrosion and fatigue resistance, fracture retardation, and labor, time, and cost savings, they are widely utilized in load-bearing structures across a wide range of industries. In addition to these better qualities, adhesive joints are the subject of several research that are being conducted in the literature [1, 2] because of their lightweight and simplicity of application. Therefore quick solution suggestions for joining materials using adhesive joints have been suggested and continue to be put forward.

Single and double acting joint types are the most often utilized connection kinds in adhesive connections. A study [3] used bonding models in single and double reinforced lap joints. The failure loads and mechanisms for three different types of joints—adhesive bonding, bolt fastening, and adhesive-bolt hybrid joining—were examined by Kweon et al. [4]. They used FM73 film-type adhesive and EA9394S type adhesive to bond aluminum and composite materials and compared the durability of the joint types. Kairouz and Matthews [5] examined single-lap bonded joints of cross-ply adherends and stated that joints' failure mode and strength were directly influenced by the surface layer orientation. da Silva et al [6], used the Taguchi method to study the effect of the adherend and the adhesive, adhesive thicknesses, the durability, the overlap and the surface treatment on the lap shear strength. Çitil et al. surveyed [7] the mechanical properties under tension of double strap joints of aluminum alloy AA 2024-T3 with gap and with filled intermediate section and found no influence of intermediate element on double-strap bonding joints. In another study [8], they discovered that lap joints with better surface geometry could withstand higher loads. They then looked at the new joint kinds of AA 2024-T3 aluminum alloy with distinct surface geometries. The impact of surface preparation on the strength and performance of single-lap aluminum-copper alloy joints for automotive applications was investigated by Boutar et al. [9]. They noticed that the single lap joint's shear strength was inversely proportional to the roughness of the surface, and less wettable conditions were occurred with the rougher the surface. Naat et al. [10] reviewed the quasi-static strength and fatigue behavior of adhesively bonded joints having different surface texture. Layec et al. [11] studied the effect of bifunctional water-soluble polymers on the adhesive bond of aluminum during transportation when bifunctional water-soluble polymers were located between the adhesive and aluminum substrate. Reneckis et al. [12] studied on the aluminum-glass fiber and aluminum-aluminum reinforced polymers' bond strength under the oil and water contamination conditions. They concluded that mineral oil contamination was more dangerous than water contamination. Single lap joints of hybrid aluminum and carbon-epoxy adhesively-bonded components were studied by Ribeiro et al. [13] Another effect of hybridization of single lap joints of fiber/metal reinforced adhesively bonded composites' bonding strength was surveyed by Thomas et al. [14]. Experimental and numerical strength of carbon fibre, aluminum and high strength steel reinforced plastics multi-material adhesive joints were investigated by Banea et al. [15]. Santos et al. [16] studied on the AF 163-2K, titanium alloy and carbon fiber reinforced polymers (CFRP) hybrid structures for peel strength improving. Hu et al. [17] investigated the etching of A6060 T5 substrates with NaOH concentration influence on bonding of hybrid aluminum and CFRP. Carbon/epoxy and AA2024-T3 aluminum alloy single lap hybrid structures with four different sequence were studied by Gültekin et al. [18]. Gültekin and Yazici [19] studied on the aluminum alloy (AA2024-T3) bonded joints improved with functionalized boron carbide and boron nitride nanoparticles. Pramanik et al. [20] reviewed the joining of aluminium alloys and CFRP. Another review study was carried out by Marannano and Zuccarello [21] on aluminum and CFRP laminates hybrid joints. Aluminum alloy (AA2024-T3) sheets in the case of curved lap joints were studied by Çitil [22]. Under four-point bending loads, Al-GFRP single lap joints' fatigue life and crack initiation were studied [23]. The effects of material types and adherent thickness on the fracture behavior of hybrid Al, Steel and CFRP single-lap bonding joints were examined [24]. Similar and dissimilar lap joints of GFRP and AA8011 Aluminum were studied to observe shear strength change [25]. Different nanoparticles reinforcing effect on the shear strength of

dissimilar adherents of Al-GFRP single lap joints were examined [26]. Effect of adhesives having different stiffness with CFRP/2024-T3 aluminum hybrid joints' performance was investigated [27].

As can be seen from the literature, it is understood that many researchers have only investigated different parameters of metallic or metal-composite hybrid joints. However, there is a lack of studies on woven metallic hybrid joints in the literature. Therefore, hybrid metallic fabrics were fabricated using Al 1005 H14 and polyethylene fishing lines. Al 1005 H14 material wire of 0.2 mm thickness was used as weft and polyethylene fishing line (PL) of the same thickness was used as warp and woven by means of traditional rug weaving equipment. In the same way, woven fabrics consisting of only polyethylene fishing line with the same thickness in both warp and weft directions were produced. FM® 73M structural adhesive film was used as structural adhesive material, and both the warp and the weft directions of the hybrid metallic laminates' mechanical characteristics were determined. This study's objective is to fill the gap in the literature and to produce hybrid composites that can provide higher strength compared to their weight, to produce lighter materials that can keep unmanned aerial vehicles in the air for longer periods of time, and to examine the effects of the increased adhesion surface on the adhesion strength due to the use of small diameter aluminum wires instead of materials used as a whole sheet in traditional applications.

## 2. Materials and Method

### 2.1. Hybrid Fabrics Weaving

To produce the metallic hybrid fabrics, Al 1050 wires having 0.2 mm thickness were obtained from a local shop. Material property data of Al 1050 H14 used in weaving fabrics and Al 5005 H34 used at the outer surface and as an intermediate among laminates were given in Table 1. The weft was made of provided metal wires, while warp was made of polyethylene fishing line. The polyethylene fishing line used as a warp was obtained from the local fishery store. The fishing line, known as "effe sumo x8," is composed of eight braided structures of same material, however with a reduced thickness. The technical specifications of this microfiber fishing line were given in Table 2. Fishing line and aluminum wires of the same thickness were employed in the manufacturing process to create hybrid metallic fabrics. The use of fishing line as a warp in this research was motivated by the need to mitigate ruptures that occurred during trials. These ruptures were attributed to friction that arose during the compressing process of the aluminum wefts. By opting for fishing lines as the warp material, the researchers aimed to avoid such ruptures from occurring.

The aluminum wires were incorporated into the system following this foundation line, as illustrated in Figure 1, and the fishing line threads were attached to the conventional weaving apparatus as warp. A layer of traditional cotton thread was weaved to produce a basis line for the aluminum wires to be linked as weft. The warp density of the fishing line threads was obtained by calculating a knot density of 55 per 1 cm<sup>2</sup> for all fabrics. The reason for choosing this density was the preliminary weaving trials. After obtaining warp density data from trials, hybrid fabrics were produced solely by manual labor, shown in Figure 1(a) and Figure 1(b), respectively. The final state of the fabrics after the weaving process could be seen in Figure 2. The same thickness of all polyethylene fishing line (both as warp and weft) fabrics was also produced with the same procedure as in Figure 1.

**Table 1.** Mechanical properties of Al 5005 H34 sheets and Al 1050 H14 wire of 0.2 mm thickness

Material	Tensile Strength, Ultimate (MPa)	Tensile Strength, Yield (MPa)	Tensile Modulus (GPa)	Elongation at Break (%)
Al 1050 H14	110	103	69	10
Al 5005 H34	159	138	68.9	8



**Table 2.** Typical Properties of fishing line of Effe Sumo X8

Material	: Polyethylene
Durability of 0.2 mm Thickness to load (kg)	: 18.14



(a)

(b)

**Figure 1.** (a) Production of fabrics with traditional weaving equipment, (b) production process of hybrid metallic fabrics of 0.2 mm thickness**Figure 2.** Traditional weaving equipment and weaved hybrid metallic fabrics

## 2.2. Preparation of Specimens with Adhesive

Because of their increased notch sensitivity and low shear stress, structural adhesives are frequently used to join composite materials. [28]. In this study, FM® 73M, belonging to CYTEC company, was used as structural film adhesive in the laminate structures created with hybrid metallic

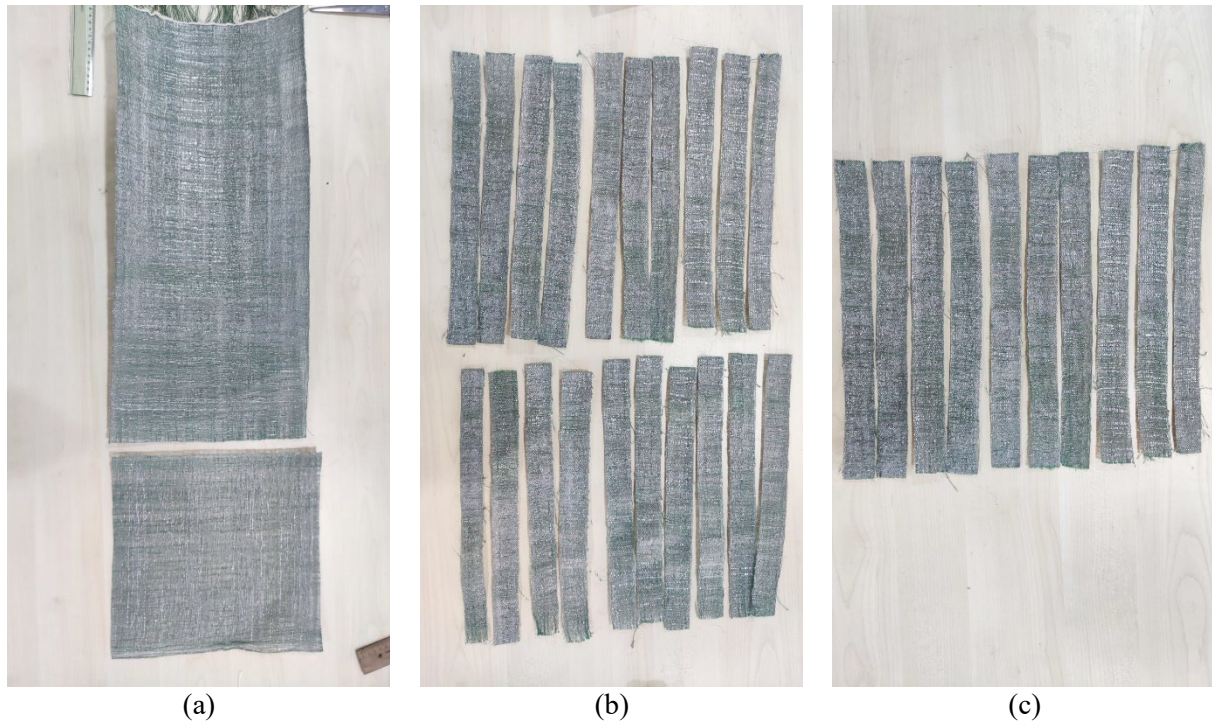
fabrics and intermediate Al 5005 H34 sheets. It is a general-purpose structural adhesive film, toughened aerospace epoxy, as highlighted in the datasheet. Between  $-55^{\circ}\text{C}$  and  $82^{\circ}\text{C}$ , it is meant to perform excellent structural performance. Bonding of many structural systems, such as metals and composites are made with FM® 73M to ensure good durability thanks to its suitability for this kind of bonding [29]. Table 3 contains the properties of FM® 73M adhesive material.

**Table 3.** FM® 73M film adhesive's properties [29]

Nominal Weight, ( $\text{g/m}^2$ )	Nominal Thickness, (mm)	Color	Tensile shear at $24^{\circ}\text{C}$ for metal to metal (MPa)	Floating roller peel at $24^{\circ}\text{C}$ metal to metal ( $\text{kN/m}$ )	Blister detection at $24^{\circ}\text{C}$ for metal to metal (MPa)	Climbing drum metal-to-metal peel at $24^{\circ}\text{C}$ ( $\text{Nm/m}$ )
210	0.18	Yellow	41.9*	11.74*	33.56*	323.34*

\* Calculated by interpolation as per data sheet

Initially, after the production of fabrics, layers were prepared by cutting the produced hybrid metallic fabric with a width of 300 mm and a length of 300 mm (Figure 3a). Secondly, fabric samples and FM® 73M of 30 mm width and 300 mm length were prepared from these layers not only in the parallel direction of the weft axis (referred to as the x-axis hereinafter), but also in warp direction (referred to as the y-axis hereinafter) as seen in Figure 3b and Figure 3c respectively for preparing laminates. Since the produced hybrid fabric material was anisotropic, both warp and weft axes were taken into account with sequencing Al 5005 H34 intermediate sheet. The same cutting procedure was followed for all polyethylene-weaved fabrics and FM® 73M, as in Figure 3. Since weaved polyethylene fabric was isotropic, it was cut into specimens regardless of weaving direction.



**Figure 3.** (a) Hybrid metallic fabrics cut in 300x300 mm size, (b) 30x300 mm hybrid metallic fabrics cut in weft direction (c) warp direction

Cavezza et al. [30] and Kuczmaszewski's [31] review studies emphasized the significance of metal adherent preparation surfaces, which significantly impacted the substrate's top layer chemistry, for the system's endurance. It was stated in another study by Davis and Brown [32] that, unlike composites, surface preparation of metals was a vital part of having a dependable adhesive bond. Cleaning the metal surfaces is necessary to ensure that the adhesive and adhering substance form a strong chemical bond, as stated by Pethrick [33]. Therefore, the surface that the adhesive comes into touch with must be free of materials like paint, oil, or dust in order to ensure effective adhesion between the adhesive and the surface of the layers. For this reason, the surfaces of the samples that needed to be bonded before bonding were cleaned and degreased. After the surface preparation process, a layered structure of different sequencing laminates was obtained by placing FM® 73M structural film adhesive between each metallic fabric and aluminum sheet, as in Figure 4. Green elements in Figure 4 were research parameters, the fabrics of hybrid materials and all polyethylene fishing lines.

As could be seen from Table 4, three sequencing of laminates with the outermost and middle Al 5005 H34 sheets of 0.5 mm thickness and the structural adhesive of 0.018 mm thickness between these sheets and produced fabrics were considered.



**Figure 4.** Al sheets, hybrid fabrics and adhesives sequences

**Table 4.** Sequencing of laminates

Number	Sequencing	Direction regard to weaving
Type I	ALS/SA/HF/SA/ALS/SA/HF/SA/ALS	X
Type I	ALS/SA/HF/SA/ALS/SA/HF/SA/ALS	Y
Type I	ALS/SA/PFL/SA/ALS/SA/PFL/SA/ALS	-
Type II*	ALS/SA/HF/SA/HF/SA/HF/SA/ALS	X
Type II*	ALS/SA/HF/SA/HF/SA/HF/SA/ALS	Y
Type II*	ALS/SA/PFL/SA/PFL/SA/PFL/SA/ALS	-

\*ALS: Aluminum Sheet, SA: Structural Adhesive, HF: Hybrid Fabric, PFL: Polyethylene Fishing Line

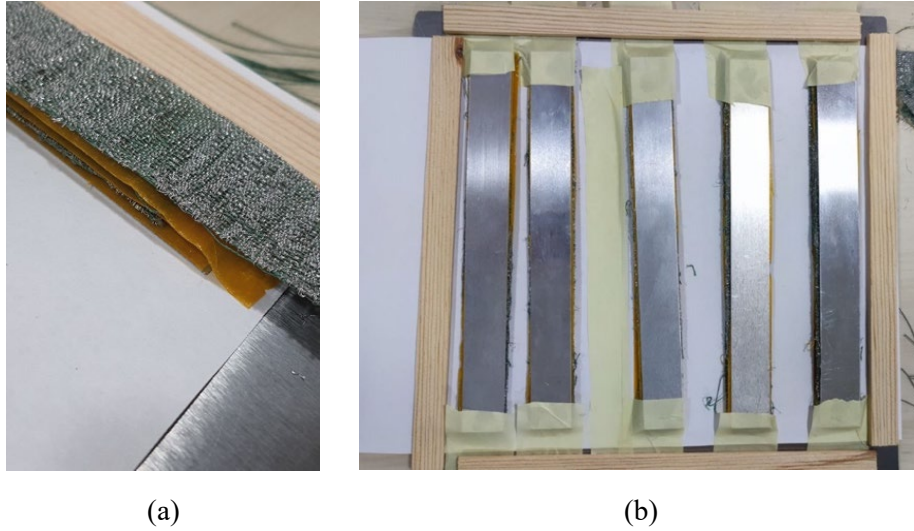
\*\*studied in another paper by same authors

The layered structure of a prepared specimen is illustrated in Figure 5a. The specimen thickness was determined by the woven hybrid metallic and polyethylene fabrics, as the thicknesses of the intermediate sheet, outermost sheets, and adhesives were constant. Consequently, to achieve the anticipated laminate thicknesses between the mold and specimens, wooden laths were fabricated in accordance with the total thickness after measuring the thickness of each fabric from three distinct positions using a micrometer. Wooden slats that mirrored the overall thickness of the specimens were positioned around them to prevent the samples from being squeezed within a temperature-controlled hydraulic press as illustrated in Figure 5b.

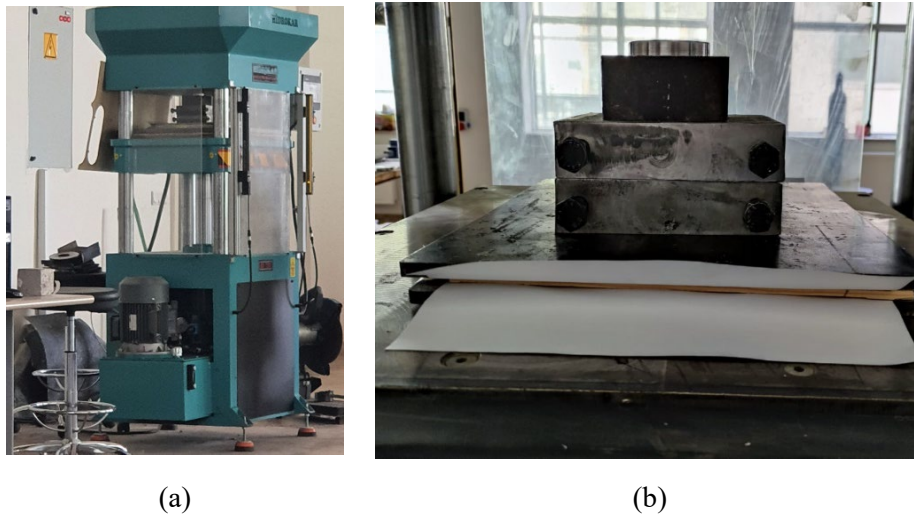
The specimen, which was prepared and ready for pressing, underwent a curing process for a duration of two hours. This process took place at a temperature of 120 °C, which aligns with the recommended curing temperature specified in the datasheet for the structural adhesive. The curing process was conducted under a pressure of 0.1 MPa inside a temperature-controlled hydraulic press, as seen in Figure 6a. In Figure 6b, it can be shown that several sequencing specimens, consisting of



intermediate Al 5005 H34 sheet, were positioned between a specifically constructed die set. These specimens were subjected to a consistent weight throughout the curing process. It is important to acknowledge that die sets have also undergone degreasing and dust purification prior to their application. The formation of laminates with varying sequencing occurred subsequent to the hydraulic press being maintained at ambient temperature for a duration of 24 hours.



**Figure 5.** (a) Laminate layers that prepared and (b) samples that ready-to-cure



**Figure 6.** (a) The temperature-controlled hydraulic press and (b) specimen under the weight in the curing chamber

The pressed samples were initially produced with 30 mm width and 300 mm length in terms of dimensions. Then, the samples aforementioned were cut with a sawing machine from 30 mm width and 300 mm length to 25 mm width and 250 mm length dimensions according to ASTM D3039 standard. After the curing and cutting process, it was observed that the lengths, widths and thicknesses of the samples were varied between  $250 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ ,  $25 \text{ mm} \pm 0.2 \text{ mm}$  and  $5.25 \text{ mm} \pm 0.25 \text{ mm}$ , respectively. Tensile sample weights were ascertained with a weighing apparatus with an accuracy of  $10^{-4}$  grams.

### 2.3. Tensile Testing

Tensile test specimens were acquired by cutting bonded materials with varying sequential structures, following the ASTM D3039 standard, using sawing equipment. The resulting specimens were prepared in accordance with the prescribed standard for further tensile testing. Tensile tests were conducted on three samples for each sequenced structure. The UTEST brand universal tensile testing machine with 20 kN load capacity was used to perform tensile tests on various hybrid metallic aluminum and polyethylene fishing line fabrics with an intermediate aluminum sheet bonded structure. The experiments were conducted in an ambient laboratory setting with a crosshead speed of 2 mm/min. The specimen subjected to tensile test with UTEST brand universal tensile testing equipment was shown in Figure 7. The tensile studies were carried out using three replicates from each group. The failure surfaces of the samples were analyzed subsequent to performing the tensile tests.

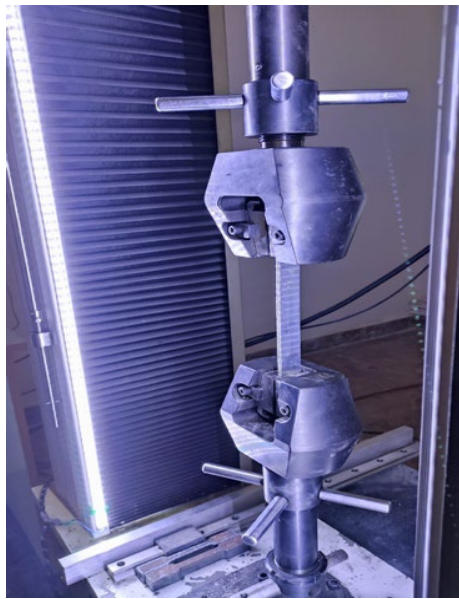


Figure 7. Specimen subjected to tensile testing

## 3. Results and Discussion

One of the most important features of adhesive joints is that they can join different types of materials. Adhesives are used not only for joining the parts but also for repair purposes. The type of glue, the components being joined, the surface to which it is applied, the overlap length, thickness, temperature, and joint pattern all affect the construction of a long-lasting adhesive junction. In bonding joints, choosing a suitable adhesive depending on the material is extremely important for the strength of the connection. When two distinct types of materials are joined, the impact of the adhesive bond on the strength of the components will differ significantly. The mechanical characteristics of the materials and the part hardness determine the adhesion mechanism. [2, 34-35].

Using weighing apparatus with an accuracy of  $10^{-4}$  gr, the weights of the tensile samples were ascertained for this investigation. With same weighing apparatus, each specimen was weighed three times, with the average values being taken into account. The weight results of different sequenced specimens not only with intermediate but also without the intermediate aluminum sheet, which was studied in another paper by same authors [36], was given in Table 5. Density of each specimen group was calculated by taking average thickness of 5.25 mm for each group and results were obtained in  $\text{kg/m}^3$ . As in Table 5, The Type-II laminates were found to have a lighter structure and a density that was roughly 10-15% lower than that of Type-I laminates within each particular sequencing group.

**Table 5.** Specimens' average weights (gr)

	X-Direction	Y-Direction	Fishing Line
Type-I, Average weights	38.71462	36.3998	38.80133
Type-I, Density (kg/m <sup>3</sup> )	1.179,87	1109.37	1182.52
Type-II, Average weights*	33.83413	31.06943	34.97352
Type-II, Density (kg/m <sup>3</sup> )	1031.13	946.88	1065.86

\*Studied in another paper of same authors [36]

When the weight data of laminates in Table 5 were examined, among the intermediate metal-containing laminates, it was observed that the specimen with the polyethylene fishing line had the maximum weight and that its weight value was extremely near to the weight of the x-direction specimen. Further, it was obtained that the lightest sample among the intermediate metal-containing laminates occurred in the samples of the y-direction. These results were compatible with results of another study of authors that sequenced laminate without intermediate Al material [36]. When the laminates of fabrics that do not contain any intermediate metals were compared with those that intermediate metal-containing laminates, it could be observed that they have a light structure of approximately 4.5 g to 5 g in each specific sequencing groups.

Laminates of different sequenced materials were subjected to tensile test in a Universal UTEST test equipment and the results of Type-I in x-axis direction were given in Figure 8. The test results of specimen in x-direction were in agreement each other. It was obtained that the ultimate tensile strength varies between 50 MPa and 60 MPa and the corresponding strain values vary between approximately 0.06 and 0.075. The stress-strain values of the laminates of Type-I in the x-direction were found to be compatible with one another when the stress-strain distributions of Type-I composite materials were examined. Figure 8 illustrates that the samples had an approximate yield strength ( $\sigma_x$ ) of 13.25 MPa and a corresponding strain value ( $\epsilon_x$ ) of 0.0035%. The samples' average ultimate strength ( $\sigma_x$ ) was discovered to be 54.83 MPa, while the corresponding average strain ( $\epsilon_x$ ) was found to be 0.057%. As a result, the aluminum wire/polyethylene line reinforced composite material's average modulus of elasticity ( $E_x$ ) for the x-direction laminates was roughly 3780 MPa..

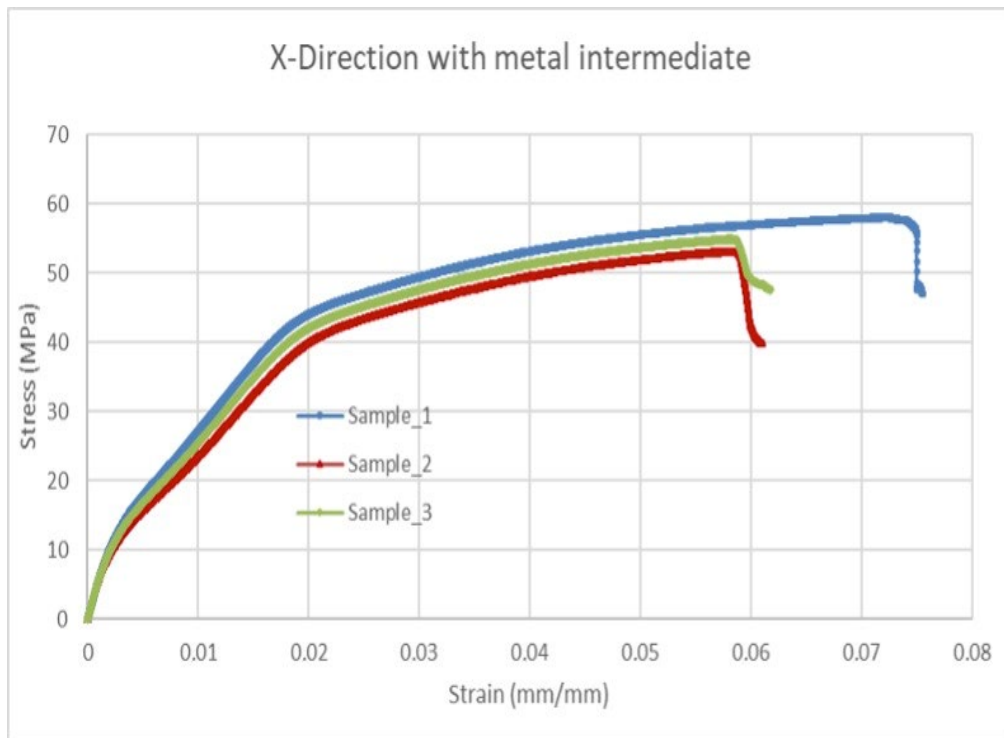
When Figure 8 was reviewed, it was discovered that the stress-strain values of the Type-I laminates in the y-direction and the x-direction were compatible with one another. The graph indicates that the samples had an average yield strength of 14.71 MPa and a corresponding strain value of 0.0039%. The samples' average ultimate strength value ( $\sigma_y$ ) was determined to be 50.7 MPa, and the average strain value ( $\epsilon_y$ ) that correlated with it was discovered to be 0.045%. As a result, the y-direction laminates of aluminum wire/polyethylene line reinforced composite material had an average modulus of elasticity ( $E_y$ ) of roughly 3770 MPa. The conclusion was that the Type-I modulus of elasticity was found to be equal in both the x and y directions. Tensile test results of y-direction of Type-I of hybrid weaved laminates with intermediate Al 5005 H34 sheet were given in Figure 9. The tensile test results of y-direction were obtained in agreement with each other, as in Figure 8.

The ultimate tensile strength values were observed to vary between 50 MPa and 55 MPa and the corresponding strain values were between 0.045 and 0.06 approximately. Moreover, it was obtained that average ultimate strength of x-direction and y-direction laminates were close to each other whereas strain values of x-direction laminates were bigger than laminates of y-direction.

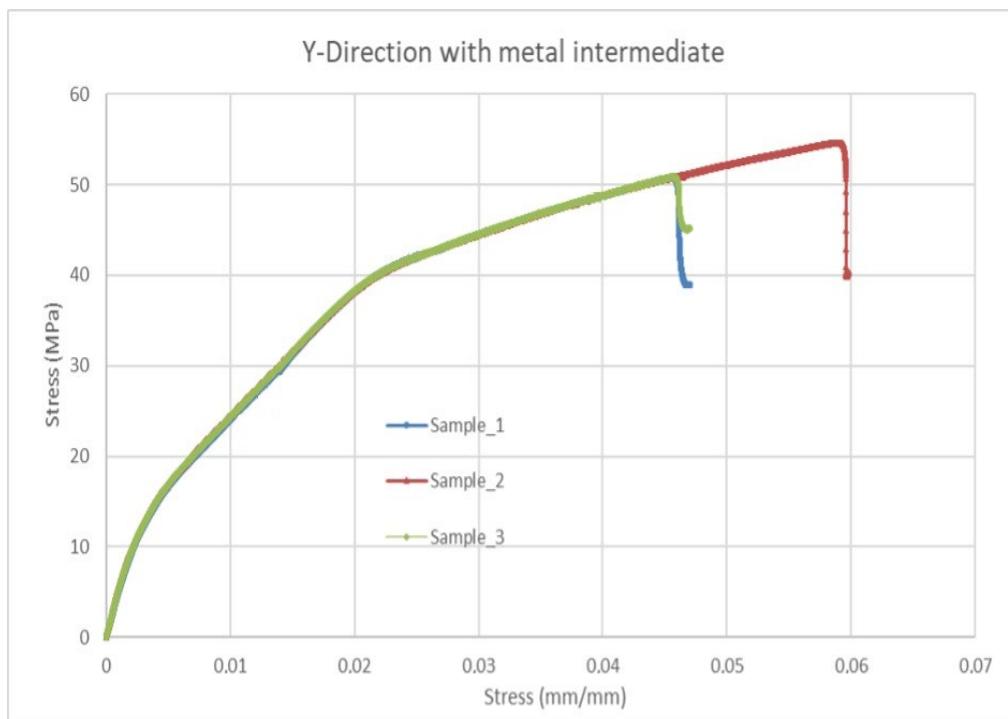
Stress-strain distributions in the y-direction of aluminum wire/polyethylene line reinforced composite materials of Type-I were given in Figure 9. The stress-strain values of the laminates of y-direction were found to be compatible with each other as was the case for x-direction of Type-I when Figure 8 was examined. The graph indicates that the samples had an average yield strength ( $\sigma_y$ ) of 14.71 MPa and a corresponding strain value ( $\epsilon_y$ ) of 0.0039%. The samples' mean ultimate strength value ( $\sigma_y$ ) was determined to be 50.7 MPa, while the mean strain value ( $\epsilon_y$ ) was discovered to be 0.045%. Consequently, the y-direction laminates of aluminum wire/polyethylene line reinforced composite material yielded an estimated value of 3770 MPa for the average modulus of elasticity ( $E_y$ ).



The conclusion was that the Type-I modulus of elasticity was found to be equal in both the x and y directions.



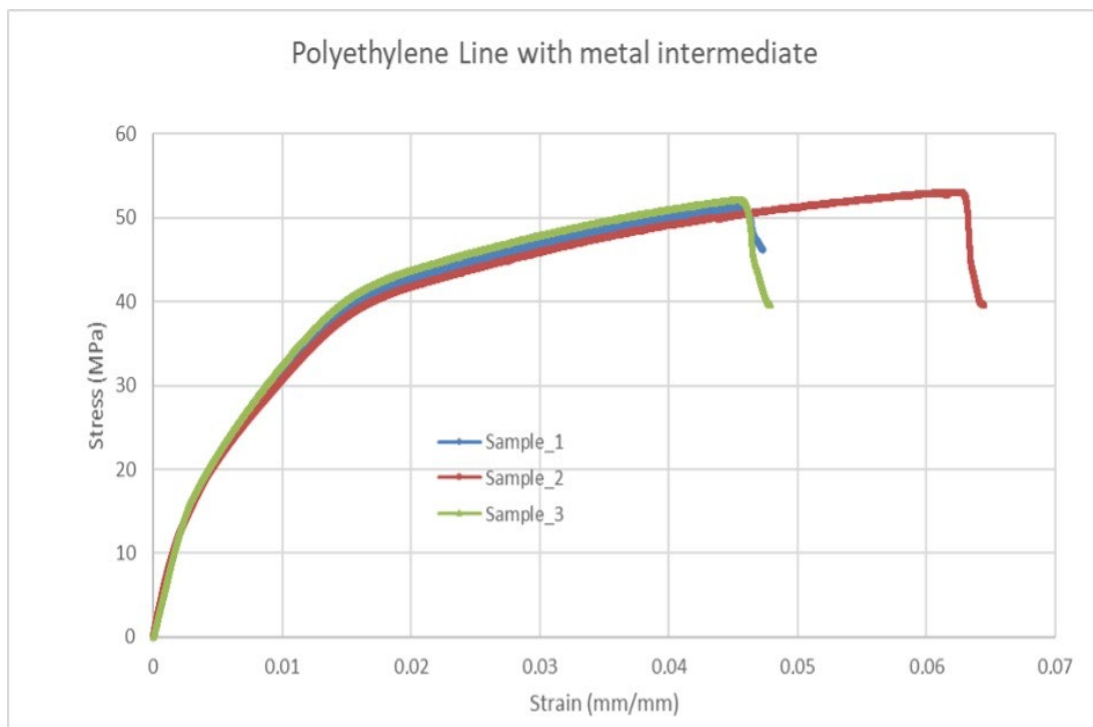
**Figure 8.** Tensile tests of Type-I laminates containing aluminum intermediate (X-direction)



**Figure 9.** Tensile tests of Type-I laminates containing aluminum intermediate (Y-direction)

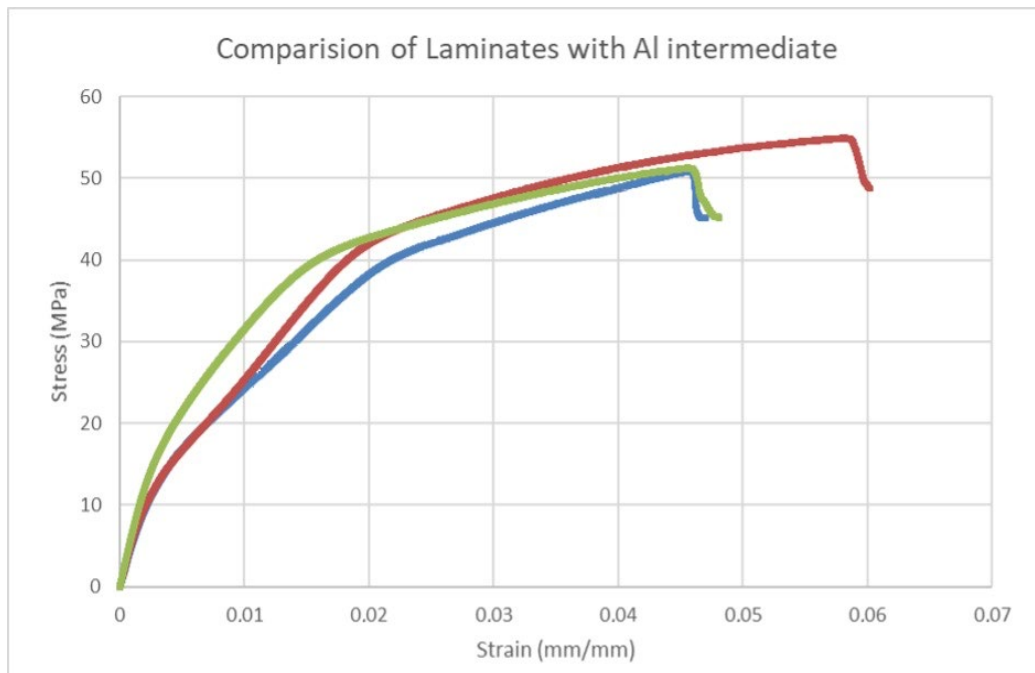
Tensile test results of all polyethylene line weaved fabrics laminates with Al 5005 H34 intermediate material were given in Figure 10. It could be stated that ultimate tensile strengths of these laminates were between 50 MPa and 53 MPa, which was a little smaller than y-direction hybrid laminates but close to values of x-direction hybrid laminate. Strain values were varied between 0.045 and 0.063, which were again close to x-direction hybrid laminates but smaller than y-direction hybrid laminates.

Figure 10 showed the stress-strain distributions of the single Type-I PL reinforced composite materials. The stress-strain values of the samples were found to be comparable with one another, as shown in Figures 8 and 9, based on the results shown in Figure 10. The graph indicates that the PL laminates had an average yield strength ( $\sigma_x$ ) of 10.68 MPa and a corresponding strain value ( $\epsilon_x$ ) of 0.0016%. The samples had an average breaking strength value ( $\sigma_x$ ) of 50.28 MPa, and the average strain value ( $\epsilon_x$ ) was observed to be 0.045%. The average modulus of elasticity ( $E_x = E_y$ ) of all PL weaved fabrics of aluminum sheet intermediate containing composite material was obtained as 6670 MPa.



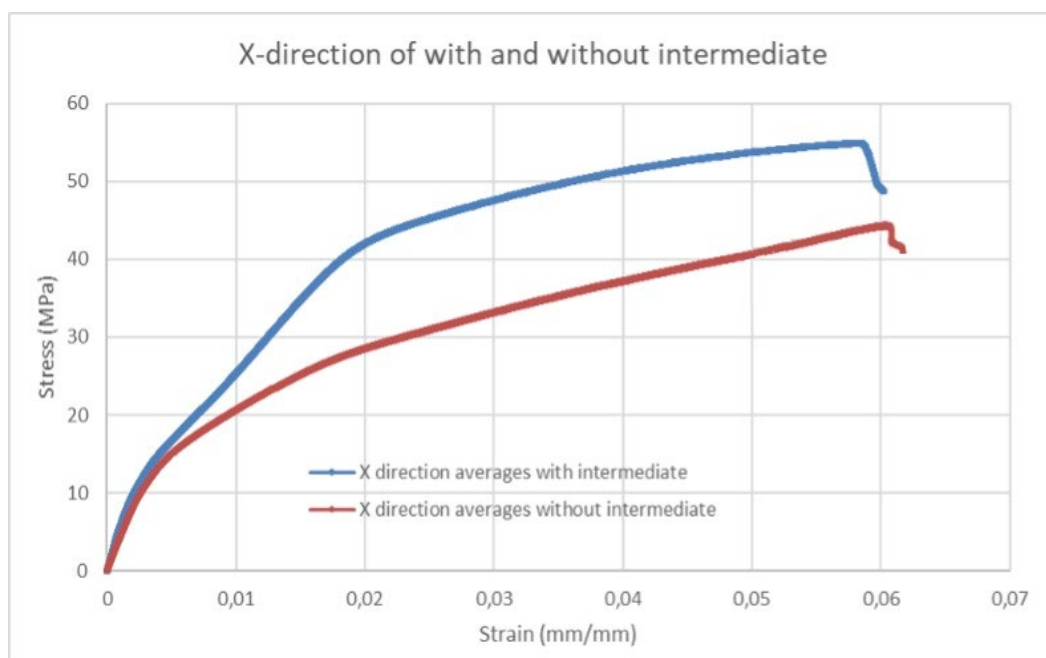
**Figure 10.** Tensile tests of Type-I laminates of PL textiles containing aluminum intermediate

In Figure 11, average values x-direction, y-direction hybrid laminates and all polyethylene line laminates were compared. Average values of three specimen in each laminate group were considered to draw this figure. It was obtained that; test results of x-direction and all polyethylene line laminates were in agreement with each other whereas y-direction laminates were bigger than the intermediate Al 5005 H34 material in all laminates, both in terms of strain value and ultimate tensile strength. In another paper, same authors investigated same laminate sequencing but without intermediate Al 5005 H34 material [36]. The laminates were all x-direction and y-direction aluminum/polyethylene hybrid fabrics, and all polyethylene fabrics. Same structural adhesive, production process and tests were applied. The average tensile test values of the laminates in the mentioned study were calculated and compared to the tensile test values of the samples with intermediate Al 5005 H34 material in this study separately in terms of x-direction, y-direction and all polyethylene line.



**Figure 11.** All Type-I intermediate material containing laminates comparison (Red: X-direction, Blue: Y-direction and Green: PL fabrics)

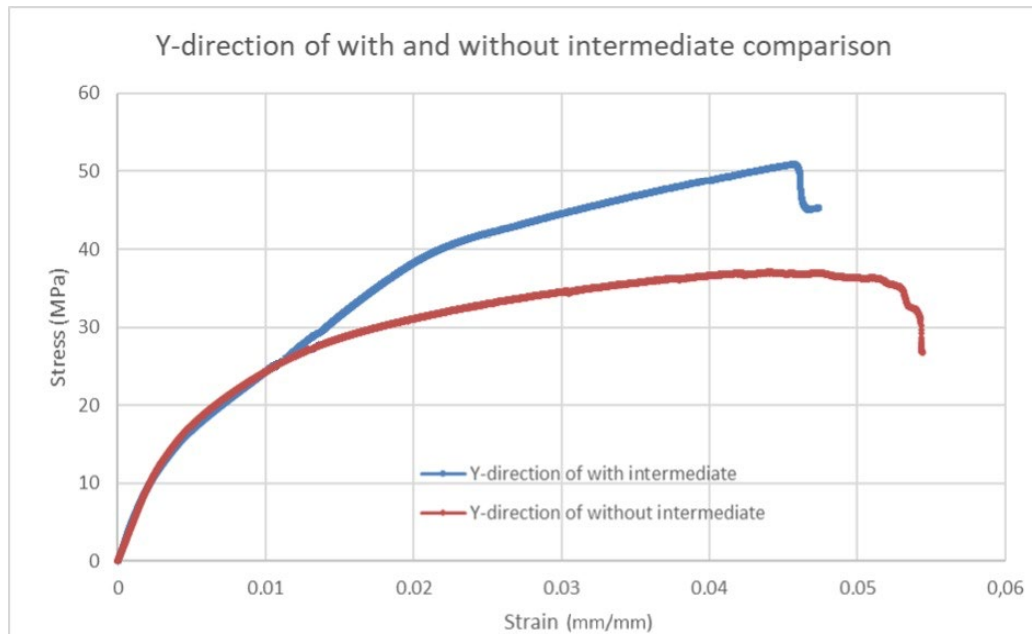
Comparison of the average tensile test results for specimens with and without an intermediate material, both possessing the identical sequence structure in the x-direction was presented in Figure 12. It was evident that the average stress outcome of the intermediate containing Al 5005 H34 was higher compared to the intermediate without it. However, the strain values obtained were very similar.



**Figure 12.** Tensile test comparison of Type-I and Type-II laminates (X-direction)

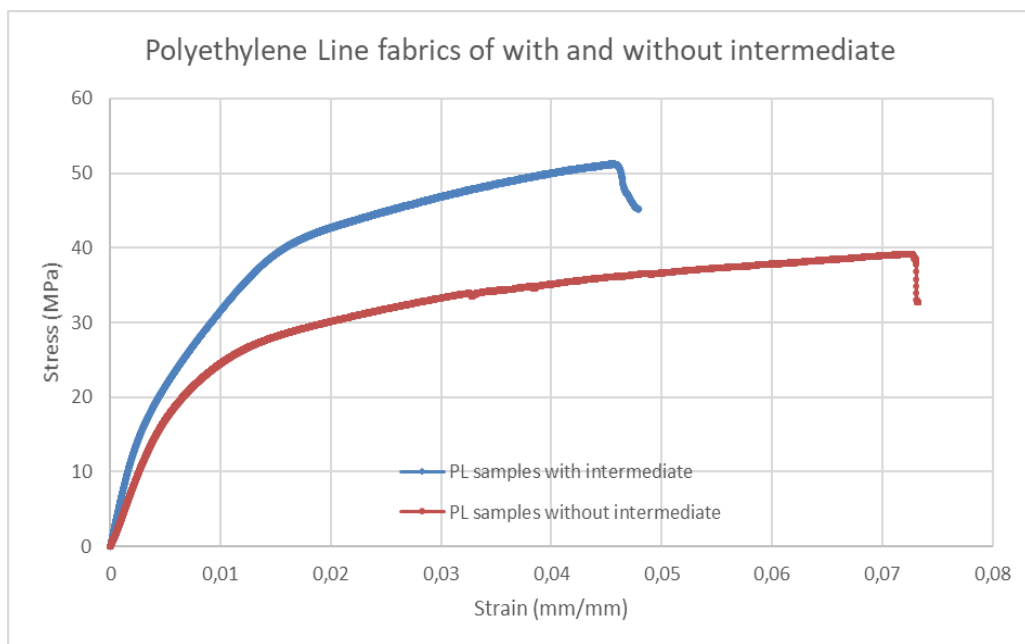
Figure 13 presented a comparison of the average tensile test results obtained with and without intermediate material using the same y-direction sequence structure. The y-direction laminates, both

with and without intermediate material, yielded identical results to the x-direction laminates. However, the average ultimate strength margin for the y-direction laminates, with or without intermediate material, was slightly greater than that of the x-direction laminates.



**Figure 13** Tensile test comparison of Type-I and Type-II laminates (Y-direction)

Comparison of average tensile test results of with and without intermediate material with same sequence structure of polyethylene fishing line laminates were given Figure 14. Average ultimate strength of laminates with intermediate Al material clearly was bigger than without Al material laminates nevertheless average strain values of with intermediate material was smaller without intermediate Al material.



**Figure 14.** Tensile test comparison Type-I and Type-II of PL fabrics

When Figure 14 was compared to Figure 12 and Figure 13, it could be stated that averages strain margin was much bigger than not only all x-direction laminates but also y-direction all laminates.

When average values of x-direction, y-direction hybrid laminates and all PL laminates of Type-I were viewed from Figure 11, It could be stated that, test results of x-direction, y-direction and all PL with intermediate Al-containing laminates were in agreement each other whereas x-direction laminates were bigger than in terms of strain as well as ultimate tensile strength. Comparison of average tensile test results of with and without Al intermediate containing material with same sequence structure of x-direction, y-direction and all PL of Type-I and Type-II composites were given respectively in Figure 12, Figure 13 and Figure 14. It could be seen that the yield strength regions were approximately same regardless of intermediate material for both composites in x-direction and y-direction given respectively in Figure 12 and Figure 13. Therefore, it would be more beneficial to use the lighter laminates that intermediate metal-free sequence in applications of where yield strength was matter. Nonetheless, in both the x- and y-direction, the final strength of composites containing intermediate Al was shown to be greater than that of composites without intermediate ones. Comparison of average tensile test results of with and without intermediate Al material with same sequence structure of polyethylene fishing line laminates were given Figure 14. It should be stressed that the yield strength regions were distinctively different regarding intermediate Al material for all PL laminates. Besides, average ultimate strength of laminates with intermediate Al material clearly was bigger than without Al material laminates and average strain margin in Figure 14 was much bigger than not only for x-direction laminates but also y-direction laminates regarding without Al material.

In conclusion, it was found that the load amount of the laminates in the x-axis direction was higher than the y-axis, and the strength value was higher when results of mechanical properties of Type-I and Type-II were compared depending on the direction. In addition, it was noted that the yield strength values of Type-I and Type-II were relatively near to one another in both the x- and y-axis directions. Strength value of PL fabrics of Type-I laminates were smaller than x-axis and but close to y-axis direction. Type-I laminates were found to be 10%–12% heavier than Type-II laminates, but the strength of the intermediate Al-containing Type-II composite was found to be higher than that of the intermediate non-containing Type-I laminates. Conversely, the intermediate non-containing Type-II samples were found to have a relatively low-density value in comparison to the intermediate Al-containing Type-I laminates. Besides, it could be stated that metal and non-metal materials could be weaved in the form of fabric which resulted in low density and high strength materials that aerospace and aviation industries were highly preferred to use. The results showed that thanks to the reduction of the wire diameter of the metal material, the defects in the internal structure of the material would decrease in a weaved fabric accordingly. Therefore, a structure with fewer defects would result in higher material strength values and lower density values.

All samples were examined following the tensile tests of laminates in order to ascertain the adhesion failure mechanism in the bonded regions. It was discovered that this mechanism involved cohesive and adhesive failure that happened at the interface between the adhesive and substrate, within the adhesive, and within the coating layer. Consequently, the failure mechanism served as an indication that the cohesive forces within the adhesion region were insufficiently robust, and a feeble boundary layer was present. [37].

#### 4. Conclusion

Diverse sequences of a novel hybrid aluminum/polyethylene fabric featuring an intermediate layer of Al were analyzed in this study, as was a pure polyethylene fabric featuring an intermediate layer of Al. A brief overview of the conclusions derived from this study would be as follows:

- It was observed that fabrics containing Al and PL could be sequentially woven using conventional rug weaving tools,

- It was discovered that Type-I laminates with intermediate Al content weighed between 10% and 12% more than Type-II laminates,
- When findings were compared based on the direction, the strength value of Type-I composites' X-axis direction was found to be higher than that of Type-I composites' Y-axis direction,
- It was discovered that the strength values of PL fabrics including laminates were almost Y-direction,
- It was found that the modulus of elasticity was the same for both the X and Y axes,
- Regarding the use of Al-intermediate material, it was found that the yield strength region of the X- and Y-direction of Type-I and Type-II were close,
- Comparing intermediate Al-containing Type-I laminates to intermediate non-containing Type-II samples, the density value of the latter was much lower,
- Depending on a comparison of Type-I and Type-II materials' strength-to-weight ratios, it is possible to conclude that by weaving metal and non-metal substances together the strength values of the materials would increase while the density values would decrease.

### Acknowledgement

The present work received funding from the coordinatorship of scientific research projects at Adiyaman University, with project number MÜFMAP/2021-0001. Furthermore, the authors would like to express their gratitude to the executives of Turkish Airlines for their kind donation of the structural film adhesive.

### Conflict of Interests

The authors of the article declare that they have no personal or financial conflict of interest with any institution, organization or person.

### References

- [1] Çitil Ş. Eğrisel yüzeyli yapıştırma bağlantılarında malzemenin yapıştırıcı üzerine etkisinin incelenmesi. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi 2018;9(1):225-234.
- [2] Da Silva LFM, Marques EAS. Joint strength optimization of adhesively bonded patches. J. Adhesion 2008; 84:915–934.
- [3] Apalak MK, Engin A. Geometrically non-linear analysis of adhesively bonded double containment cantilever joint. Journal of Adhesion Science Technology 1997;11(9):1153-1195.
- [4] Kweon JH, Jung JW, Kim TH, Choi JH, Kim DH. Failure of carbon composite-to-aluminum joints with combined mechanical fastening and adhesive bonding. Composite Structures 2006;75(1-4):192-198.
- [5] Kairouz K C, Matthews F L. Strength and failure modes of bonded single lap joints between cross-ply adherends. Composites 1993; 24(6): 475-484.
- [6] Da Silva LFM, Carbas RJC, Critchlow GW, Figueiredo MAV, Brown K. (2009). Effect of material, geometry, surface treatment and environment on the shear strength of single lap joints, International Journal of Adhesion & Adhesives 2009;29:621–632.
- [7] Çitil Ş, Ayaz Y, Temiz Ş. Stress analysis of adhesively bonded double strap joints with or without intermediate part subjected to tensile loading. The Journal of Adhesion, 2017;93(5):343-356.



- [8] Çitil Ş. Comparison of stepped, curved, and S-Type lap joints under tensile loading. In *Materials Design and Applications*, Springer, Cham; 2017.
- [9] Boutar Y, Naïmi S, Mezlini S, Ali MBS. Effect of surface treatment on the shear strength of aluminium adhesive single-lap joints for automotive applications. *International Journal of Adhesion and Adhesives* 2016; 67:38-43.
- [10] Naat N, Boutar Y, Naïmi S, Mezlini S, Da Silva LFM. Effect of surface texture on the mechanical performance of bonded joints: a review. *The Journal of Adhesion* 2021:1-93.
- [11] Layec J, Ansart F, Duluard S, Turq V, Aufray M, Labeau MP. Development of new surface treatments for the adhesive bonding of aluminum surfaces. *International Journal of Adhesion and Adhesives* 2021:103006.
- [12] Reneckis V, Vilutis A, Jankauskas V. Investigation of technological factors influencing the strength of bonded Al-alloy. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 2021;1140(1):012042.
- [13] Ribeiro TEA, Campilho RDSG, Da Silva LF, Goglio L. Damage analysis of composite-aluminium adhesively-bonded single-lap joints. *Composite Structures* 2016;136:25-33.
- [14] Thomas R, Fischer F, Gude M. Adhesives for increasing the bonding strength of in situ manufactured metal-composite joints. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering* 2021;235(13):3256-3269.
- [15] Banea MD, Rosioara M, Carbas RJC, Da Silva, LFM. Multi-material adhesive joints for automotive industry. *Composites Part B: Engineering* 2018;151:71-77.
- [16] Dos Santos DG, Carbas RJC, Marques EAS, Da Silva LFM. Reinforcement of CFRP joints with fibre metal laminates and additional adhesive layers. *Composites Part B: Engineering* 2019;165:386-396.
- [17] Hu Y, Yuan B, Cheng F, Hu X. NaOH etching and resin pre-coating treatments for stronger adhesive bonding between CFRP and aluminium alloy. *Composites Part B: Engineering* 2019;178:107478.
- [18] Gültekin K, Akpınar S, Özel A, Öner GA. Effects of unbalance on the adhesively bonded composites-aluminium joints. *The Journal of Adhesion* 2017;93(9):674-687.
- [19] Gültekin K, Yazici ME. Mechanical properties of aluminum bonded joints reinforced with functionalized boron nitride and boron carbide nanoparticles. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications* 2022;236(1):37-49.
- [20] Pramanik A, Basak AK, Dong Y, Sarker PK, Uddin MS, Littlefair G, Chattopadhyaya S. Joining of carbon fibre reinforced polymer (CFRP) composites and aluminium alloys—A review. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* 2017;101:1-29.
- [21] Marannano G, Zuccarello B. Numerical experimental analysis of hybrid double lap aluminum-CFRP joints. *Composites Part B: Engineering* 2015;71:28-39.
- [22] Çitil Ş. Experimental and numerical investigation of adhesively bonded curved lap joints under three-point bending. *Mechanics* 2018;24(6):824-832.
- [23] Zamani P, Jaamialahmadi A, Da Silva LF. The influence of GNP and nano-silica additives on fatigue life and crack initiation phase of Al-GFRP bonded lap joints subjected to four-point bending. *Composites Part B: Engineering* 2021;207:108589.
- [24] Sun G, Liu X, Zheng G, Gong Z, Li Q. On fracture characteristics of adhesive joints with dissimilar materials—An experimental study using digital image correlation (DIC) technique. *Composite Structures* 2018;201:1056-1075.

- [25] Reddy NS, Jinaga UK, Charuku BR, Penumakala PK, Prasad AS. Failure analysis of AA8011-pultruded GFRP adhesively bonded similar and dissimilar joints. *International Journal of Adhesion and Adhesives* 2019; 90: 97-105.
- [26] Cakir MV, Kinay D. MWCNT, nano-silica, and nano-clay additives effects on adhesion performance of dissimilar materials bonded joints. *Polymer Composites* 2021; 42(11): 5880-5892.
- [27] Carbas RJC, Marques EAS, da Silva LFM. The influence of epoxy adhesive toughness on the strength of hybrid laminate adhesive joints. *Applied Adhesion Science* 2021; 9(1): 1-14.
- [28] Morgado MA, Carbas RJC, Marques EAS, da Silva LFM. Reinforcement of CFRP single lap joints using metal laminates. *Composite Structures* 2019; 230: 111492.
- [29] Solvay. Properties of FM73M. <https://www.solvay.com/en/product/fm-73>. (Access date: 01.09.2023).
- [30] Cavezza F, Boehm M, Terryn H, Hauffman T. A review on adhesively bonded aluminium joints in the automotive industry. *Metals* 2020; 10(6): 730.
- [31] Kuczmazewski J. Fundamentals of metal-metal adhesive joint design. Lublin University of Technology, Poland. 2006.
- [32] Davis M, Bond D. Principles and practices of adhesive bonded structural joints and repairs. *International journal of adhesion and adhesives* 1999;19(2-3): 91-105.
- [33] Pethrick RA. Design and ageing of adhesives for structural adhesive bonding—a review. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: design and applications*, 2015; 229(5): 349-379.
- [34] Da Silva LFM, Lopes MCQ. Joint strength optimization by the mixed-adhesive technique, *International Journal of Adhesion & Adhesives* 2009; 29: 509–514.
- [35] Adams RD, Harris JA. Stress analysis of adhesive-bonded lap joints, *The Journal of Strain Analysis for Engineering Design* 1974; 9(3): 185-196.
- [36] Engin KE, Kaya AI, Çitil S. Investigation of mechanical properties of woven hybrid metallic fabric. In *2nd International Conference on Industrial Applications of Adhesives 2022: Selected Contributions of IAA 2022*, 2022; 2:115-133.
- [37] Seong MS, Kim TH, Nguyen KH, Kweon JH, Choi J. H. A parametric study on the failure of bonded single-lap joints of carbon composite and aluminum. *Composite structures* 2008; 86(1-3): 135-145.

## DERİN AĞLAR İÇİN YENİ BİR BİRİMDİK DÜZGÜNLEŞTİRME YAKLAŞIMI

Kazım FIRILDAK<sup>1\*</sup>, Gaffari ÇELİK<sup>2</sup>, Muhammed Fatih TALU<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Fırat Üniversitesi, Kovancılar Mektek Yüksek Okulu, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Elazığ, 23100, Türkiye

<sup>2</sup>Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi, Meslek Yüksek Okulu, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Ağrı, 04100, Türkiye

<sup>3</sup>İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Malatya, 44200, Türkiye

Geliş Tarihi/Received Date: 14.11.2023 Kabul Tarihi/Accepted Date: 24.04.2024 DOI: 10.54365/adyumbd.1390894

### ÖZET

Ortogonal Düzgünleştirme (OD), derin ağların aşırı öğrenme (overfitting), gradyan patlamansı/kaybolmasını engellemek için kullanılmaktadır. Literatürde derin öğrenme için geliştirilen OD yöntemlerinin çoğunda ağ ağırlıklarını birim dik vektörler olarak öğrenme amaçlanmaktadır. Bu makalede ağ ağırlıklarını ikili olarak gruplayarak birim dik öğrenmeye zorlayan fonksiyon, maliyet fonksiyonuna eklenmektedir. Bu yöntem yapay sinir ağlarında ve konvülsiyonel sinir ağlarında çeşitli veri kümelerinde (yapay veri ve gerçek veri) test edilmektedir. Ayrıca önerilen yöntem, literatürde öne çıkan Yumuşak Ortogonal (SO), Çift Yumuşak Ortogonal (DSO), Karşılıklı Tutarlılık (MC) ve Spektral Sınırlı İzometri Özellikli (SRIP) gibi yöntemler ile doğruluk, yürütülme zamanı, hata oranı metriklerinde karşılaştırılmaktadır. Karşılaştırma sonucunda doğruluk metriğinde farklı veri kümelerinin kullanan ağlarda %1-%5 arasında iyileşme sağlanmaktadır. Önerilen yöntem, Cifar10 veri kümesinde Resnet 110 ağında 92,96 dan %93,90'a ve Resnet 28-10 %95,84'den %96,78'a test başarısını yükseltmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Ortogonal Düzgünleştirme, Sinir Ağları, Evrimsel Sinir Ağları

## A NEW ORTOGONAL REGULARIZATION APPROACH FOR DEEP NETWORKS

### ABSTRACT

Orthogonal Regularization (OR) is used to prevent overfitting, gradient explosion and Vanishing Gradient in deep networks. OR methods developed for deep learning in the literature aim to learn network weights as unit orthogonal vectors. In this article, the function that enables unit orthogonal learning of network weights for binary groups is added to the cost function. This method is tested on various data sets (artificial data and real data) in artificial neural networks and convolutional neural networks. In addition, the proposed method is compared with methods such as Soft Orthogonal (SO), Double Soft Orthogonal (DSO), Mutual Coherence (MC) and Spectral Restricted Isometry Property (SRIP), which are prominent in the literature, in terms of accuracy, execution time and error rate metrics. As a result of the comparison, an improvement of 1% to 5% is achieved in the accuracy metric in networks using different data sets. The proposed method increases the test success from 92.96 to 93.90% in the Resnet 110 network and from 95.84% to 96.78% in the Resnet 28-10 dataset on the Cifar10 dataset.

**Keywords:** Orthogonal Regularization, Neural Networks, Convolutional Neural Networks

\*e-posta<sup>1</sup>: [kfirildak@firat.edu.tr](mailto:kfirildak@firat.edu.tr) ORCID ID: <https://orcid.org/my-orcid?orcid=0000-0002-1958-3627> (Sorumlu Yazar)

e-posta<sup>2</sup>: [gcelik@agri.edu.tr](mailto:gcelik@agri.edu.tr) ORCID ID: <https://orcid.org/my-orcid?orcid=0000-0001-5658-9529>

e-posta<sup>3</sup>: [fatihaltu@gmail.com](mailto:fatihaltu@gmail.com) ORCID ID: <https://orcid.org/my-orcid?orcid=0000-0003-1166-8404>

## 1. Giriş

Yapay sinir ağları (YSA), önemli bir yapay öğrenme mimarisidir ve derin öğrenme mimarilerinin temelini oluşturmaktadır [1–5]. Derin mimariler imge sınıflama [6–9], doğal dil işleme [10] ve nesne tespiti [11] gibi birçok uygulama alanında kullanılmaktadır. Yapay öğrenme araştırmacıları, derin mimarilerin optimizasyonu üzerinde son yıllarda yoğun bir şekilde çalışmaktadırlar. Bu çalışmalar, yeni derin mimarilerin önerilmesi [1,12] optimizasyon algoritmalarının geliştirilmesi [13,14] düzgünleştirme yöntemleri [15,16] olarak özetlenebilir.

YSA, eğitim maliyetinin azaltılması, doğruluk metriğinin yükseltilmesi derin ağların optimizasyonu için büyük önem taşımaktadır. YSA optimizasyonunun 2 temel zorluğu vardır. Bunların ilki ara katmanların ağırlık sayısının ne olacağı ve öğrenme hızının nasıl artırılacağıdır [17]. Bunun yanında Ann'lerin de bir parçası olduğu derin öğrenme mimarilerinin gradyan patlaması/kaybolması çözülmesi gereken bir diğer problemidir [18]. Bu durum genellikle bir problemin çözümünde daha derin sinir ağlarının tercih edilmesinden kaynaklanmaktadır. Problemin çözümü için artık derin ağ önerilmiştir [19,20]. Bu ağlar probleme kısmi bir çözüm üretse de ağ derinliği artması durumunda tam bir çözüm sağlayamamıştır. Bunun yanında ağ ağırlıklarının, ortagol başlatılması ve ya eğitiminde ortagonal düzenlenmesi gibi yöntemler problemin daha etkili bir çözümü olarak kullanılmaktadır [21–23].

Bu makalede YSA ve evrişimsel sinir ağları (ESA), ağırlık vektörlerini ortagonal tabanlar olarak öğrenmeye dayalı bir regularisasyon metodu önerilmektedir. Önerilen yöntem ile ağın temel yapısı değiştirilmeden etkili bir hata eklenti metodu sunulmaktadır. Yöntem ağın ara katmanındaki ağırlıklarını ikili ve atlamalı olarak dikleştirmeye zorlanmaktadır. Böylece YSA ve ESA, ortagonal ağırlıkları etkili bir şekilde öğrenmesi sağlanmaktadır. Önerilen metod katman sayısı düşük YSA ve ara katman sayısı daha fazla olan ESA nasıl davrandığı analiz edilmektedir. Analiz aşamasından sentetik veriler ve gerçek veriler üzerinde deneyler yapılmaktadır. Ağlara önce gürültüsüz veriler daha sonra ise verilere gaus dağılımlı gürültü eklenerek deneyler gerçekleştirilmektedir. Daha sonra önerilen yöntemin derin ağlarda performansı incelenmektedir. Önerilen yöntem, Resnet ağının sınıflama katmanında kullanılarak ağın hızlı yakınsadığı ve daha iyi test doğruluğu sağladığı gözlemlenmektedir. Önerilen yöntem YSA ve ESA toplam doğruluğu ve öğrenme hızında iyileşme sağlanmaktadır. Son olarak literatürde sunulan diğer ortagonal düzgünleştirme yöntemleri ile kıyaslanmaktadır.

Bu çalışmanın 2. bölümünde literatürde sunulan ilgili çalışmalar sunulmaktadır. 3 bölümde ortagonalite ve literatürdeki ortagonal yöntemler açıklanmaktadır. Daha sonra 4. Bölümde önerilen ortagonal ağırlık öğrenen yöntem tanımlanmaktadır. 5 bölümden önerilen yöntemin deneysel sonuçları sunulmaktadır. Son olarak elde edilen sonuçlar tartışılarak ileriki çalışmalar için düşünce ve öneriler belirtilmektedir.

## 2. İlgili Çalışmalar

Literatürde ortagonal ağırlıkların yapay öğrenmede kullanımı ile ilgili birçok çalışma geliştirilmiştir. Mishkin ve diğ. [21] tarafından derin sinir ağları (DSA) için Katman sıralı birim varyansı başlangıç metodu önerilmiştir. Bu yaklaşımda ilk olarak ağ ağırlık matrisi ortanormal olarak başlatılmıştır. Sonraki aşamada ise ağın her bir katmanı normalleştirmek için çıkış varyansını 1'e eşitlenmiştir. Böylece DSA toplam test doğruluğu arttırılmıştır. Huang ve diğ. [14] Orthogonal ağırlık matrisi normalisasyonu için çoklu stiefel manifolds optimizasyon çözümünü kullanmışlardır. Böylece yöntem karesel ve karesel olmayan ağırlık matrisi için geliştirilmiş bir ortagonal çözüm sağlanmıştır. Metot Cifar100 veri kümesinde geniş residual ağın hatasını yaklaşık %2 oranında düşürmektedir. Jia ve diğ. [24] DSA'nın, veri dağılımlarının local izometri olduklarını önermektedir. Daha sonra local izometri kullanarak her bir ağırlık matrisinin tekil değer spectrumuna ve aralığına duyarlı bir hata fonksiyonu geliştirmişlerdir. Bu metod modern derin ağlara kullanarak çeşitli metriklerde

başarısı kanıtlanmıştır. Zhang ve diğ tarafından [25] ise DSA ağ ağırlıkları arasındaki açıların ortalamasının ve varyansının 0 dan 90 doğru iten kendi kendine düzgünleştirme yapma metodu kullanmışlardır. Böylece ağ eğitiminin daha hızlı yakınsaması sağlanmıştır. Bansal ve diğ. [26] tarafından karşılıklı tutarlılık ve kısıtlı izometri özelliği gibi çeşitli liner cebir metotları kullanarak derin ESA'ların eğitimi konusunda yeni bir ortagonallik yöntemi geliştirilmiştir. Daha sonra yöntem Resnet ve WideResnet ağlarında kullanılarak Cifar10,Cifar100 ve Imagenet veri kümeleri üzerinde test edilmiştir. Xie ve diğ. [27] DSA'lerin gradyan patlamasını/kaybolmasını engellemek için farklı filtre bankaları arasındaki ortanormallik kullanan bir düzgünleştirme yöntemi önermişlerdir. Bu yöntem iki parametrik katman arasındaki kuasizometri varsayım geliştirmiştir.

Ortogonal yaklaşımların kullanıldığı birçok yöntem güncel hayat problemlerini çözmüştür. Hava kirliliği tahmini gerçekleştirmek için derin Spatio-Temporal Ortogonal Düzgünleştirme kullanan artık ESA geliştirilmiştir [28]. Bu çalışmada ESA doğruluğunun artırılması için ortogonal düzgünleştirme yöntemi olan spektral Sınırlı İzometri özellikli kullanılmıştır. Sonuç olarak bu yönteminin nerdeyse bütün durumlarda ağı tahmin doğruluğunu artırmıştır. Bir diğer çalışmada EEG sinyallerini kullanarak uyku analizi yapmak için ortogonal tekrarlamalı yapay sinir ağı (OTNN) önerilmiştir [29]. OTNN, literatürdeki TNN yapılarıyla karşılaştırıldığında F1-score, toplam doğruluk ve AUC değerinde daha iyi performans sağlamıştır. Benzer olarak tek kanallı EEG sinyali kullanarak uyku aşaması sınıflandırmak için ortogonal konvülsiyonel yapay sinir ağı (OESA) yapısı geliştirilmiştir [30]. Bu yöntemde, EEG sinyalleri Hilbert-Huang dönüşümü aracılığıyla bir zaman frekans domainine dönüştürülmüştür. Daha sonra OESA ağırlıkları ortogonal olarak başlatılmıştır. OESA eğitim sırasında ortogonal düzgünleştirme kullanarak daha etkili bir sınıflama gerçekleştirmiştir. Bunun yanında ortogonal derin bir model kara kutu saldırılarına karşı koruma önlemi olarak önerilmiştir. Ortogonal model yardımıyla, gradyan kontrolü sağlanarak kara kutu saldırılarından daha güvenli bir sistem tasarımı sağlanmıştır [31].

### 3. Ortogonal Düzgünleştirme

DSA, performansını etkileyen en önemli etkenlerden biri gradyan patlaması/kaybolmasıdır. Ağların derinliğindeki artış bu problemleri ortaya çıkarmaktadır. DSA'da, ileriye doğru yayılımın kararlığı yığın normalleştirme (YN) yöntemi ile sağlanmaktadır. Fakat geri yayılımda YN hatanın düzenli dağılımını garanti etmemektedir [28]. Bu nedenle gradyanların patlaması/kaybolmasını önlemek için OD kullanılması önerilmektedir [26–28]. OD, geri yayılım hatalarını azalttığı, ara katman enerji korunumu sağladığı ve ağların doğruluk metriğini arttırdığı literatürde sunulmuştur [26,27,32]. Bu çalışmalardan, OD genellikle ağırlık zayıflama metotlarının yerine kullanılmaktadır.

Ortogonalite,  $x$  ve  $y$  iki vektör olmak üzere  $x, y \in R^n$  için  $x \cdot y = 0$  ise  $x \perp y$  denir. Bunun yanında dik olan  $x$  ve  $y$  vektörlerinin uzunlukları  $\|x\| = 1$  ve  $\|y\| = 1$  ise bu vektörler ortanormal olarak ifade edilmektedir. YSA'da ortogonalite ve ortanormallik kavramı, norm-korunumu olarak adlandırılan denklem 1' de gösterilen hipotez ile açıklanmaktadır. Norm-korunumunda,  $x$  ve  $y$  vektörü liner bir dönüşüm ile  $W$  ortogonal matrisi kullanarak eşleştirilir.  $W^T$ , transpoz matrisi olmak üzere  $y = W^T x$  denkleminde  $\|x\| = \|y\|$  ise bu norm-korunumu olarak tanımlanmaktadır [27].

$$\|y\| = \sqrt{y^T y} = \sqrt{x^T W W^T x} = \sqrt{x^T x} = \|x\| \text{ if } W W^T = I \quad (1)$$

Literatürdeki norm-korunumu kullanan OD yöntemleri Bansal ve diğ tarafından dört grupta incelenmektedir. Bunlar yumuşak ortogonal düzgünleştirme, çift yumuşak ortogonal düzgünleştirme, karşılıklı tutarlılık düzgünleştirme ve spektral sınırlı izometri özellikli düzgünleştirme yöntemleridir.

### 3.1. Yumuşak Ortogonal Düzgünleştirme

Literatürde birçok çalışma, aşırı öğrenme, gradyan patlaması/ kaybolması probleminin çözüm olarak ağırlık matrisinin gram matrisine yakın olmasını öne sürmektedir. Bu çalışmalarda ağırlık matrisinin ortogonal olması için denklem 2’deki düzgünleştirme yaklaşımı kullanılmışlardır [27,33].

$$\lambda \|W^T W - I\|_F^2 \quad (2)$$

Burada  $\lambda$ , düzgünleştirme katsatsısı,  $W$ , ağırlık matrisi ve  $I$  ise birim matristir.  $W^T W$  karesel matrisinin birim matrisden farkının Frobenius norm değeri  $\lambda$  ile çarpılarak ağ hata fonksiyonuna eklenmektedir.  $W$ , satır ve sütun sayısı sırasıyla  $m$ ,  $n$  dir. Eğer  $m \geq n$  ise  $m$  rank olan  $W$  matrisi, undercompletedir. Bu durumda  $W$  matrisi sütunları arasında ortogonality tanımlanabilir. Fakat  $n \geq m$  ise  $W$  matrisi  $m$  rank olduğundan overcompletedir. Bu durumda gram matrisi  $W^T W \in R^{n \times n}$  tanımlanamayabilir. Bu eksiklikleri giderebilmek için ağırlık matrisini stiefel manifold, jakobi gibi alt uzaylara bölen yaklaşımlar sunulmuştur [14].

Denelerimizde denklem 2 deki temel soft ortogonallik yaklaşımı kullanılarak YSA ve ESA regularize edilmektedir. Denklem 2 deki formülün gradyanı  $\lambda \|W^T W - I\|_F^2$  kullanarak hata geri yayılımı gerçekleştirilmiştir.

### 3.2. Çift Yumuşak Ortogonal Düzgünleştirme

Çift yumuşak ortogonal düzgünleştirme (DSO), SO metodundan geliştirilmektedir. SO yaklaşımındaki aşırı öğrenme ve aşırı uyum durumlarına daha iyi adapte olmak için Denklem 3’te verilen düzgünleştirme önerilmektedir [26].

$$\lambda (\|W^T W - I\|_F^2 + \|W W^T - I\|_F^2) \quad (3)$$

Burada  $W$ , ağırlık matrisi için  $m$  satır ve  $n$  sütun sayısıdır. Yöntem,  $m > n$  için  $\lambda \|W^T W - I\|_F^2$ ;  $m \leq n$  için ise  $\lambda \|W W^T - I\|_F^2$  denklemine göre düzgünleştirme kaybı hesaplanmaktadır. Daha sonra düzgünleştirme kaybı ağ hata fonksiyonuna eklenmektedir. DSO düzgünleştirme yönteminin ağ hatası, otomatik türev kullanılarak geriye doğru yayılmaktadır.

### 3.3. Karşılıklı Tutarlılık Düzgünleştirme

$W$ , ağırlık matrisinin aşırı öğrenme ve aşırı uyum durumlarına çözüm üretmek için karşılıklı tutarlılık yaklaşımı önerilmektedir. Bu yöntem denklem 4’te gösterilmektedir. [26,34].

$$\mu_w = \max_{i \neq j} \frac{|(w_i, w_j)|}{\|w_i\| + \|w_j\|} \quad (4)$$

Burada,  $w_i$ ,  $W$  matrisinin  $i$ . sütun vektörüdür. MC,  $[0,1]$  aralığında bir değerdir. Denklem 4’teki  $\mu_w$  değerinin düşük olması  $W$  matrisinin, ortogonal veya yakın-ortogonal olmasına neden olmaktadır. Bu nedenle  $\mu_w$  değeri OD için kullanılmaktadır. Denklem 5’te MC yöntemi gösterilmektedir.

$$\lambda \|W^t W - I\|_\infty \quad (5)$$

Denklem 5’teki denklemin gradyanını hesaplamak için  $l_\infty$  norm kullanılmaktadır [35]. Vektörel uzunluk hesabının iteratif olarak gerçekleşmesinden dolayı, MC yönteminin gradyanı otomatik-türev ile hesaplanmaktadır.



### 3.4. Spektral Sınırlı İzometri Özellikli Düzgünleştirme

Sınırlı izometrik özellikler (RIP) kullanılarak geliştirilen düzgünleştirme yöntemleri zamansal karmaşıklığı ve doğruluk metriklerinde diğer yöntemlere göre daha iyi performans gösterdiği literatürde gösterilmektedir [25,28]. RIP, matematiksel modeli denklem 6’te verilmektedir.

$$(1 - S_w) \leq \frac{\|Wz\|^2}{\|z\|^2} < (1 + S_w) \quad (6)$$

Burada,  $\forall z \in R^n$  vektörleri için k-sparse’ da  $S_w \in (0,1)$  sabit değeri vardır. Denklem 6’ da  $k=n$  için  $W$  ağırlık matrisi ortagonallığe zorlanmaktadır. Denklem 7’de,  $k = n$  için RIP tekrar düzenlenerek gösterilmektedir.

$$\left| \frac{\|Wz\|^2}{\|z\|^2} - 1 \right| \leq S_w, \forall z \in R^n \quad (7)$$

Denklem 7’ye göre  $W$  ağırlık matrisinin ortogonalitesi,  $S_w$  değerine bağlıdır. Öyleyse  $S_w$ , minimize edilmesi,  $W$  matrisinin ortagonelliğe yaklaştırmaktadır. Öyleyse  $W^T W - I$  spectral normunun minimize edilmesi gerekmektedir. Buna spektral sınırlı izometrik özellik (SRIP) denilmektedir. Denklem 8’ de SRIP yönteminin matematiksel gösterimi sunulmaktadır [28,36].

$$\lambda \cdot \sigma(W^T W - I) \quad (8)$$

Burada,  $\lambda$  düzgünleştirme katsayısıdır.  $\sigma(W^T W - I)$ ,  $W^T W - I$  matrisinin spektral normudur. Spektral norm denklem 8’ in gradyan hesaplamasını kolaylaştırmak için iteratif bir düzenleme denklem 9’ da verilmektedir [26].

$$u \leftarrow (W^T W - I)v, v \leftarrow (W^T W - I)u, \sigma(W^T W - I) \leftarrow \frac{\|v\|}{\|u\|} \quad (9)$$

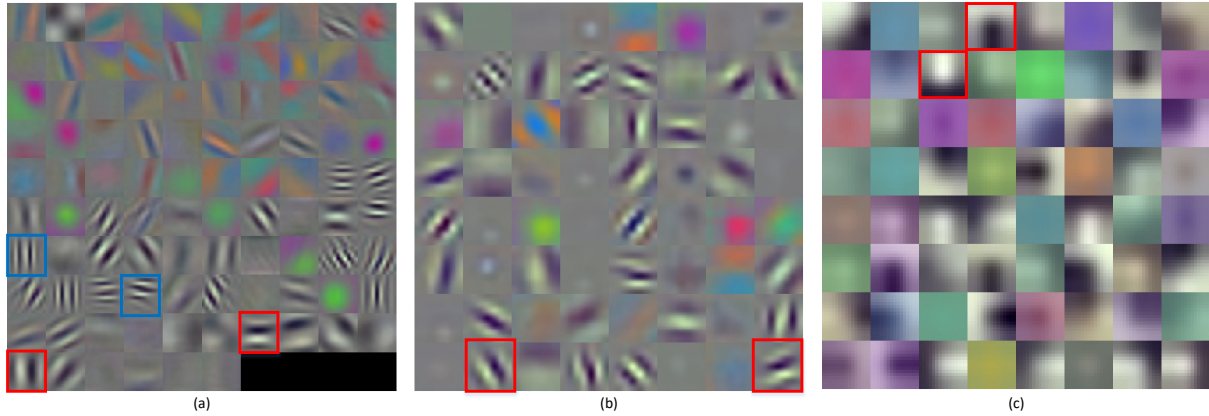
Burada  $v \in R^n$  için rastgele bir değerdir. İteratif olarak gradyan yaklaşık bir değerde hesaplanmaktadır. Gradyan hesaplanmasında otomatik türev kullanılmaktadır.

## 4. Önerilen Ortogonal Düzgünleştirme Yöntemi

Literatürdeki OD algoritmalarının çoğu, ağırlık matrisini gram matrisine yakınlaştırmayı amaçlamaktadır. Bu durum aşırı öğrenme problemini ortaya çıkarmaktadır. Bu çalışmada aşırı öğrenme, probleminden kaçınmak için YSA’ların ağırlıkları 2’li vektör çiftleri olarak düzgünleştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaçla ön eğitim modelleri verilen Alexnet [2], Vgg16 [37], Resnet50 [19] derin öğrenme ağlarının ağırlıkları incelenmektedir. Bu ağırlıklar incelendiğinde ESA’nın filtrelerin ve Ann tam bağlı ağırlıklarının bir bölümü dik vektörler şeklinde öğrenildiği gözlemlenmektedir [25]. Şekil 1’de, Alexnet, Resnet50, Vgg16 ağlarının ön eğitim modelinden rastgele alınmış evrişim katman filtreleri gösterilmektedir.

Şekil 1’de AlexNET, Resnet50 ve Vgg16 ön eğitim ağırlık çiftlerinin bazıları (Kırmızı ve mavi kutular ile gösterilen) ortagonal ve ya ortagonelliğe yakın filtrelerdir. Yani, bir evrişim katmanındaki ağırlıkların sadece belirli çiftleri birbirine diktir. Öyleyse ağırlık matrisinin tamamı yerine belirli ikililerin ortagonelliğinin hesaplanması aşırı öğrenme probleminin çözümü için etkili bir yöntem olabilir. Denklem 10’ da 2’li vektörlerin dikliğini öğrenen önerilen yeni bir düzgünleştirme yönteminin denklemini sunulmuştur.

$$\lambda \sum_{j=1}^E \sum_{i \in \{1,3,5,\dots\}}^D \|w_{j,i}^T w_{j,i+1} - I\|^2 \quad (10)$$



**Şekil 1.** ESA ağlarının bazı evrişim filtreleri (a) AlexNET evrişim filtreleri, (b) Resnet50 evrişim filtreleri, (c) Vgg16 evrişim filtreleri

Burada,  $\lambda$  düzgünleştirme katsayısıdır.  $D, j$ . katmandaki toplam evrişim filtre sayısıdır ve tam bağlı sinir ağlar da ise ara katmandaki eleman sayısıdır.  $E$  ise YSA ve ESA katman sayısıdır.  $i, i \in \{1,3,5, \dots, n\}$  ESA ve tam bağlı katmanlarının sütunları ifade eder.  $w$ , ağırlık matrisidir,  $I$  ise birim matrisi ifade eder.  $w_{j,i}$ ,  $j$  ninci katmandaki  $i$  ninci ağırlık vektörüdür. ESA için evrişim filtresi  $W \times H \times C$  giriş ( $W$  ağırlık,  $H$  ağırlık ve  $C$  ise giriş kanal sayısıdır), çıkış ise Öklit normu sonucudur. Böylece bütün ikili vektör çiftlerinin ortagonallik değerleri  $J_{orh}$  hesaplanmaktadır ve denklem 11 deki gibi ağırlık maliyet fonksiyonu  $J_{similarity}$  'e  $1 - \alpha$  katsayısıyla çarpılarak eklenmektedir.  $\lambda$  düzgünleştirme katsayısı  $1 - \alpha$  değeridir.

$$J(\theta) = \alpha * J_{similarity}(w, x, y_{gold}) + (1 - \alpha)J_{orh}(w) \quad (11)$$

Burada,  $J(\theta)$ , ağırlık maliyet fonksiyonudur. YSA eğitimi için  $J(\theta)$ 'nin türevi geriye doğru yayılmaktadır. Bu tür döngü ve şart deyimleri içeren denklemlerin türevinin alınması için otomatik türev kullanılmaktadır. Otomatik türev, zincir kuralını kullanarak fonksiyonların türevini hesaplamaktadır [38,39]. Bilgisayar programlarının türevi alınırken programı oluşturan fonksiyonların çıktılarının girdilerine göre türevleri alınarak zincir kuralı ile birleştirilmektedir. Önerilen yöntemin  $J(\theta)$  türevi, otomatik türev ile hesaplanmaktadır.

## 5. Deneysel Sonuçlar

Önerilen düzgünleştirme yönteminin uygulamaları Nvidia p4000 32 gb ekran kartına sahip bilgisayarda yürütülmektedir. Sadece Resnet110 ve Resnet28-10 deneyleri Nvidia K80 ekran kartına sahip Google colab platformunda sonuçlar elde edilmektedir. Python programlama dili kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Uygulamaların otomatik türevinin alınması için YSA'da autograd, ESA ise keras, tensorflow kütüphaneleri kullanılmaktadır. Otomatik türev, yazılım fonksiyonlarının türevinin alınıp geriye yayılması için geliştirilmiştir. Bir veri noktasından giriş alan fonksiyonun çıkışına kadar olan işlemleri bağımlı değişken üzerinden türevi hesaplanır.

Deneylerde ilk olarak önerilen yöntem, Xor, Moons, Spiral, Circle, Mnist, Fashion Mnist ve Cifar 10 veri setlerinde; denklem (12-15)' de sırasıyla verilen Doğruluk (*Doğ*), Duyarlılık (*Duy*), Keskinlik (*Kes*) ve *F skor* metrik performansları incelenmektedir. Daha sonra literatürde öne çıkan SO, DSO, MC, SRIP kullanan algoritmalar ile doğruluk metriğine göre karşılaştırılarak sonuçlar açıklanmaktadır [40].

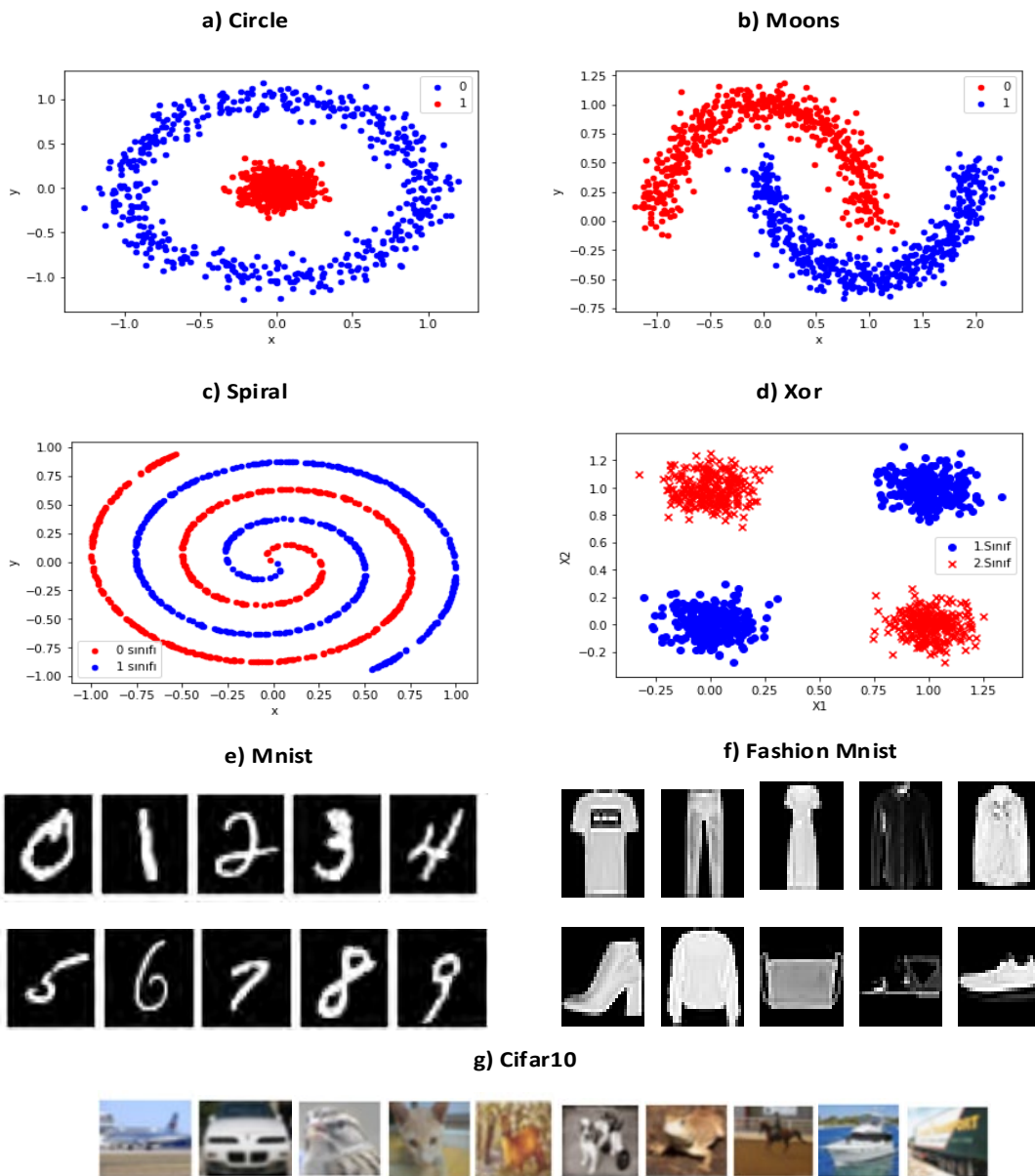
$$Doğ = \frac{TP+TN}{(TP+FN)+(FP+TN)} \times 100 \quad (12)$$

$$Duy = \frac{TP}{TP+FN} \times 100 \quad (13)$$

$$Kes = \frac{TP}{TP+FP} \times 100 \quad (14)$$

$$F\ skor = \frac{2 \times TP}{(2 \times TP + FP + FN)} \times 100 \quad (15)$$

Metrik ölçütlerinde iki sınıflı (A ve B sınıfı için) bir veri kümesi için  $TP$ , A sınıfına ait doğru tahmin edilen eleman sayısıdır.  $TN$ , B sınıfı için doğru tahmin edilen eleman sayısını göstermektedir.  $FP$ , A sınıfına ait olup yanlış sınıflandırılan veri sayısıdır.  $FN$ , B sınıfına ait olup A sınıfında sınıflanan veri sayısıdır.  $Doğ$ , veri kümelerinde doğru tahmin edilen test verisi sayısını göstermektedir.  $Duy$ , bir sınıfa ait duyarlılıktır.  $Kes$  ise keskinlik oranıdır.  $F\ skor$  ise  $Duy$  ve  $Kes$  değerlerinin harmonik ortalamasıdır.



Şekil 2. Veri kümeleri

### 5.1. Kullanılan Yapay Sinir Ağları ve Veri Kümeleri

Önerilen yöntemin değerlendirilmesi için 7 farklı veri kümesi kullanılmaktadır. Bu veri kümelerini iki farklı gruba ayırabiliriz. İlki matematiksel denklemler ile üretilen sentetik veri kümeleridir. Xor, Moons, Spiral ve Circle sentetik veri kümeleri önerilen yöntemin deneysel çalışmalarında kullanılmaktadırlar. Denklem 16' da Xor, Moons ve Circle veri kümelerinin giriş, çıkış boyutu gösterilmektedir. Spiral veri kümesinde ise giriş 7 tanedir ve denklem 17' de gösterilmektedir. Bunun nedeni YSA'daki eğitim ve test performansının artırılmasıdır. Veri kümelerindeki bazı elemanları Şekil 2' de gösterilmektedir.

$$\text{Giriş} = \{x_1, x_2\}, \text{Çıkış} = \{y\} \quad (16)$$

$$\text{Giriş} = \{x_1, x_2, x_1^2, x_2^2, x_1x_2, \sin(x_1), \sin(x_2)\}, \text{Çıkış} = \{y\} \quad (17)$$

İkinci grup veri kümesi literatürde sunulan Mnist [41] Fashion Mnist [42] ve Cifar10 veri kümeleridir. Mnist, el yazısı rakamları, Fashion Mnist günlük kıyafetleri ve Cifar ise taşıt, hayvan imgelerini içermektedir. Veri kümelerindeki test ve eğitim veri sayısı, sınıflara eşit oranda dağıtılmaktadır. Çizge 1'de veri kümelerinin detayları gösterilmektedir.

**Çizelge 1.** Veri kümelerinin özellikleri.

Veri Kümesi	Eğitim Veri Sayısı	Test Veri Sayısı	Boyut	Sınıf Sayısı	Veri Türü
Cifar10	50000	10000	32x32x3	10	RGB imge
Mnist	60000	10000	28x28x1	10	Gri imge
Fashion Mnist	60000	10000	28x28x1	10	Gri imge
Xor	10000	1000	1x2	2	2 Boyutlu veri
Spiral	10000	1000	1x2	2	2 Boyutlu veri
Moons	10000	1000	1x2	2	2 Boyutlu veri
Circle	10000	1000	1x2	2	2 Boyutlu veri

YSA insan beyninden esinlenerek geliştirilmiştir. YSA'nın tek ve çok katmanlı modelleri bulunmaktadır. Katman girişi  $a$ , katman ağırlığı (başlangıçta rastgele belirlenen)  $w$  ve her katman için bias  $b$  olmak üzere katman çıkışı  $aw + b$  olarak tanımlanmaktadır. Katman çıkışları Sigmoid, Tanh gibi doğrusal olmayan fonksiyonlar (aktivasyon fonksiyonları) uygulanmaktadır. YSA çıkışlarında hesaplanan hata geri yayılım algoritması ile ağı yayılarak eğitilmektedir. Önerilen yöntem bu prensiple çalışan 3 farklı YSA yapısı için düzenleyici olarak uygulanmaktadır. Çalışmamızda kullanılan YSA'ların katman sayıları, aktivasyon fonksiyonu, hata fonksiyonu, devir ve optimisasyon yöntemi Çizelge 2' de sunulmaktadır.

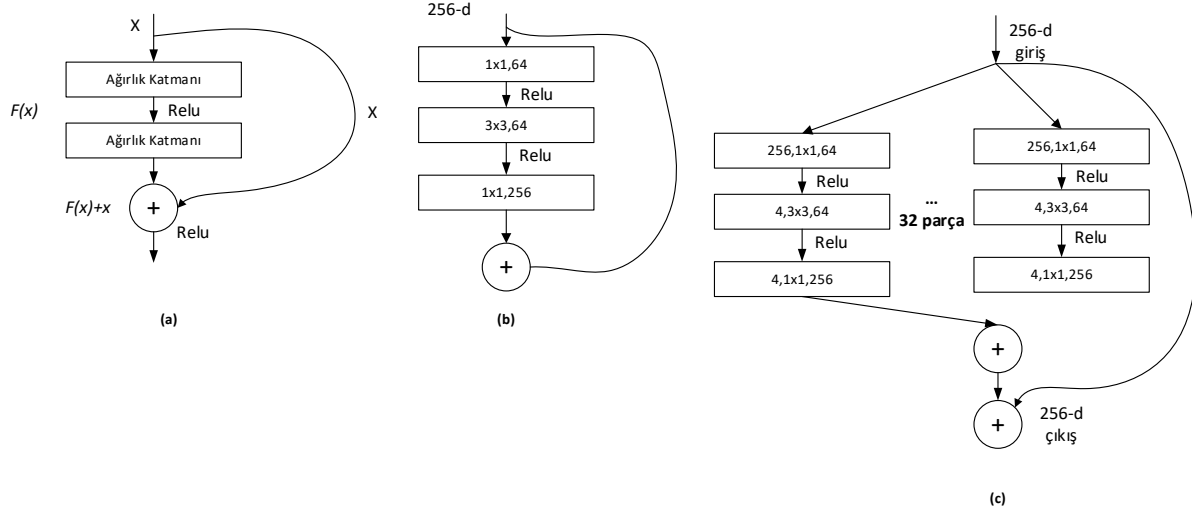
**Çizelge 2.** Kullanılan YSA'lar.

Ağ	Giriş katmanı	Ara katman	Çıkış katmanı	Aktivasyon	Optimisasyon	Batch size	Devir	Öğrenme Oranı
YSA1	2	4	2	tanh	Adam	100	100	0.01
YSA2	7	4	2	tanh	Adam	100	100	0.01
YSA3	728	-	10	tanh	Adam	64	50	0.01

ESA, konvülyasyon, havuzlama, aktivasyon ve sınıflandırıcı katmanlardan oluşan YSA'dır. Artık sinir ağları (Resnet), evrişimsel sinir ağlarındaki gradyan patlaması probleminin çözmek için önerilmiştir [19]. Şekil 3' te Resnet Mimarisi ve artık katman yapısı (residual blok) gösterilmektedir.

Artık katmanlar, ağı önceki katman değerini ileriye aktararak ağı öğrenme hatası optimize etmektedir. Şekil 3 (a)' da,  $x$  girişi için beklenen öğrenme işlemi  $f(x)$ 'dir. Artık bağdaştırıcısından gelen  $x$  ile birleştiğinde artık katmanı çıkışı  $f(x) + x$  olur. Literatürde farklı derinliklerde ve

genişliklerde Resnet mimarileri bulunmaktadır. Önerilen yöntem Resnet 110 [19] ve Resnet 28-10 [43] test edilmektedir. Resnet110, Şekil 3 (b)'deki artık katmanlardan meydana gelmektedir. Toplam 18 tane konvülyasyon katmanı bulunan ağ toplam 1.7 milyon parametreden oluşmaktadır. Resnet 28-10 ağı şekil 3 (c)'deki katman yapısından meydana gelmektedir. Resnet 28-10'de, artık blokların derinliği 28 genişliği ise 10'dur.



Şekil 3. Artık Katmanlar. (a) Temel artık katman (b) ResNET 110 katmanı (c) Resnet 28-10 katmanı

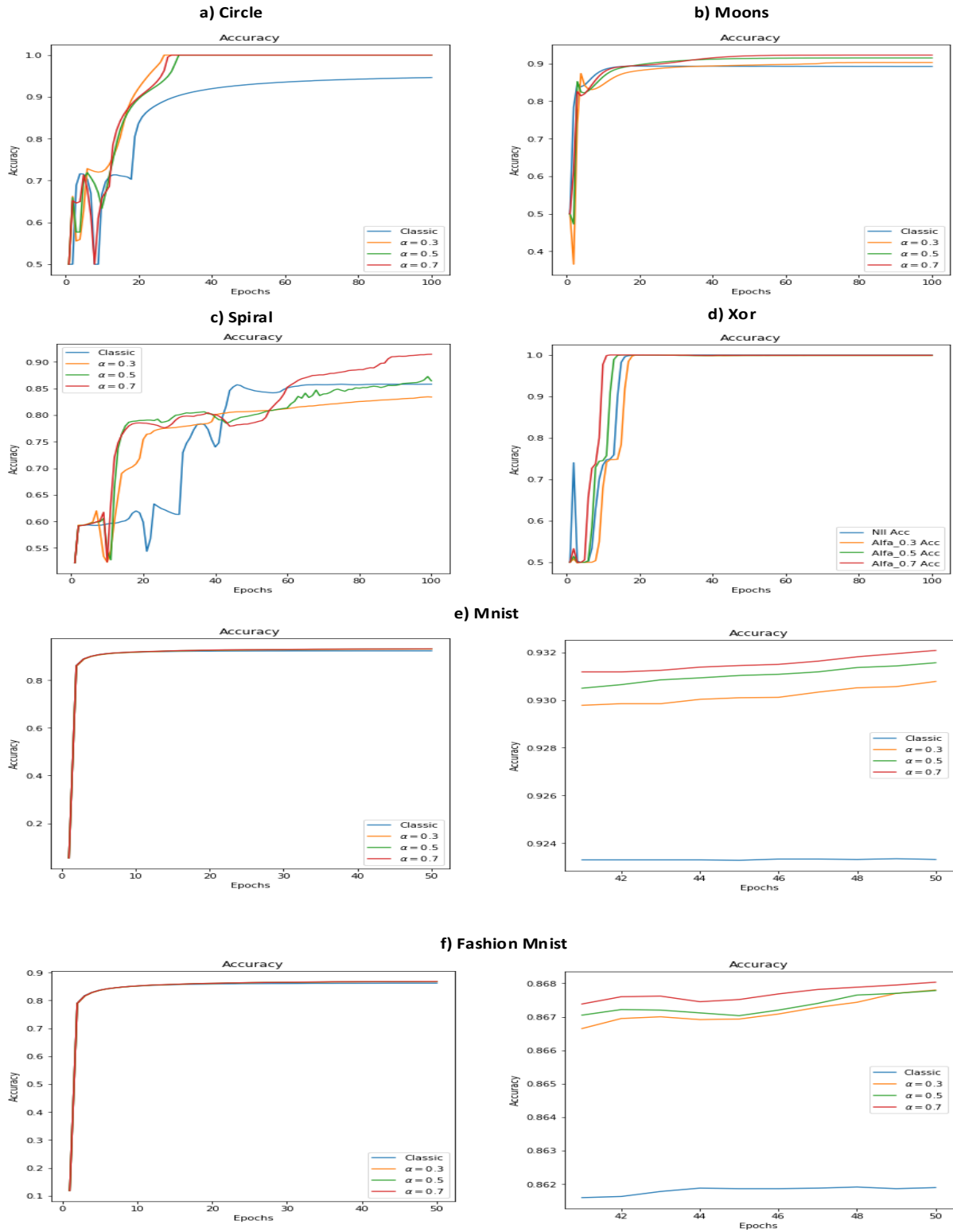
## 5.2. Önerilen Yöntemin Deneysel Sonuçları

Deneylerin ilkinde Xor, Moons, Circle için YSA1, spiral için YSA2 ve mnist, fashion mnist veri setleri için YSA3 kullanılmaktadır. Önerilen yöntemin, bu ağlarda Doğ ve yürütülme zamanı ( $t$ ) metriklerinde öğrenme etkisi incelenmektedir.

YSA1, YSA2 ve YSA3'nın, ağırlık değerleri  $[-1,1]$  aralığında başlangıçta rastgele seçilerek Çizelge 2' deki eğitim parametrelerine göre eğitilmektedirler. İlk önce Ağlar düzgünleştirme yöntemi olmadan daha sonra önerilen düzgünleştirme yöntemi  $\alpha = \{0.3, 0.5, 0.7\}$  değerleri ile eğitilmektedir. Doğ ve  $t$  metriği sonuçları Çizelge 3' te gösterilmektedir.

Çizelge 3. Önerilen yöntemin,  $\alpha = \{0.3, 0.5, 0.7\}$  için Doğ ve  $t$  sonuçları.

	Önerilen Yöntem						Düğünlüştürmesiz	
	$\alpha = 0.3$		$\alpha = 0.5$		$\alpha = 0.7$		-	
	Doğ	$t$	Doğ	$t$	Doğ	$t$	Doğ	$t$
<b>Circle</b>	99	59	99	59	<b>99</b>	59	94,6	24
<b>Moon</b>	90,3	56	91,5	55	<b>92,3</b>	55	89,3	22
<b>Spiral</b>	83,4	87	87,2	87	<b>91,4</b>	87	85,8	30
<b>Xor</b>	99	55	99	55	<b>99</b>	55	99	22
<b>Mnist</b>	93	92	93,1	92	<b>93,2</b>	92	92,3	78
<b>F Mnist</b>	86,8	96	86,7	96	<b>86,8</b>	96	86,1	78



**Şekil 4.** Önerilen Yöntemin kullanılan veri kümelerindeki Doğ-Devir Grafikleri.

Circle, Moons, Mnist, Fashion Mnist veri setleri için önerilen yöntem Doğ metriğinde düzgünleştirme içermeyen ağa göre daha iyi test sonuçları vermektedir. Sadece Xor veri setinde Doğ metriğinde artış sağlamamaktadır. Bunun nedeni ağın önerilen düzgünleştirme yöntemi kullanılmadan modeli öğrenmesidir. Spiral veri setinde ise düzgünleştirmesize göre  $\alpha$  katsayısı 0.3 iken Doğ

metriğinde azalmaktadır, 0.5,0.7 değerlerinde ise artmaktadır. Mnist ve Fashion MNIST veri kümelerinde önerilen yöntemin *Doğ* değerinde en iyi sonuç  $\alpha = 0.7$  değerinde sağlamaktadır. Çizelge 3'deki yürütülme zamanı ( $t$ ) ağ eğitimi için geçen süre olarak tanımlanmaktadır. Bütün veri setlerinde, önerilen yöntem yürütülme zamanının arttırdığı gözlemlenmektedir. Sonuç olarak önerilen yöntemin YSA ağlarında *Doğ* değerinde önemli artışlar sağlamaktadır. Ayrıca  $\alpha$  katsayısının 0.3, 0.5, 0.7 değerindeki ağ eğitimindeki etkisi değerlendirildiğinde en iyi sonucun  $\alpha = 0.7$ ' de alındığı gözlemlenmektedir. Bu nedenle deneylerimizde  $\alpha = 0.7$  olarak sabitlenmektedir. Önerilen yöntemin ilgi ağlardaki *Doğ* – devir (Accuracy-Epoch) grafikleri Şekil 4'te gösterilmektedir.

Şekil 4'de Xor ve Circle veri seti %99 başarıyla YSA ağları tarafından öğrenilmiştir. Önerilen yöntem ilgi ağlarda öğrenme eğrisinde daha hızlı yakınsama sağlanmaktadır. Moons ve spiral veri setinde ise önerilen yöntem ağın öğrenme eğrisinde kısmen yakınsama sağladığı gözlemlenmektedir. Mnist ve Fashion mnist veri setinde ise öğrenme eğrisinde kayda değer bir yakınsama gözlemlenmemektedir. Sonuç olarak önerilen yöntem öğrenme eğrileri üzerinden hızlı yakınsama sağlayabilir. Önerilen yöntemin  $\alpha = 0.7$  katsayısıyla Xor, Circle, Moons, Spiral veri kümelerinde *Duy*, *Kes* ve *F skor* metriklerindeki sonuçları çizge 4'te gösterilmektedir. Önerilen yöntem tüm metriklerde düzgünleştirmesiz YSA göre üstünlük sağlamaktadır.

**Çizge 4.** Önerilen yöntemin *Duy*, *Kes* ve *F skor* metriklerindeki sonuçları

	Önerilen Yöntem			Düzenleştirmesiz		
	$\alpha = 0.7$			-		
	<i>Duy</i>	<i>Kes</i>	<i>F skor</i>	<i>Duy</i>	<i>Kes</i>	<i>F skor</i>
<b>Circle</b>	<b>99,4</b>	<b>98,6</b>	<b>99</b>	94,7	94,4	94,6
<b>Moon</b>	<b>92,9</b>	<b>91,6</b>	<b>92,2</b>	90	88,4	89,2
<b>Spiral</b>	<b>90,9</b>	<b>92</b>	<b>91,4</b>	86,6	84,6	85,6
<b>Xor</b>	<b>98,8</b>	<b>99,2</b>	<b>99</b>	98,4	99,6	99

### 5.3. Önerilen Yöntemin Gürültü Eklenmiş Veri Setlerindeki Deneysel Sonuçları

Gürültülü veri kümeleri yapay öğrenme yöntemlerinin performansını olumsuz etkilemektedir. Kullanılan veri kümeleri denklem 18' deki gaus gürültüsü sırasıyla 0.1, 0.2, 0.3 standart sapması ile uygulanmaktadır. Gürültü veriler için önerilen yöntemin *Doğ* metriğindeki sonuçları çizelge 5'te gösterilmektedir.

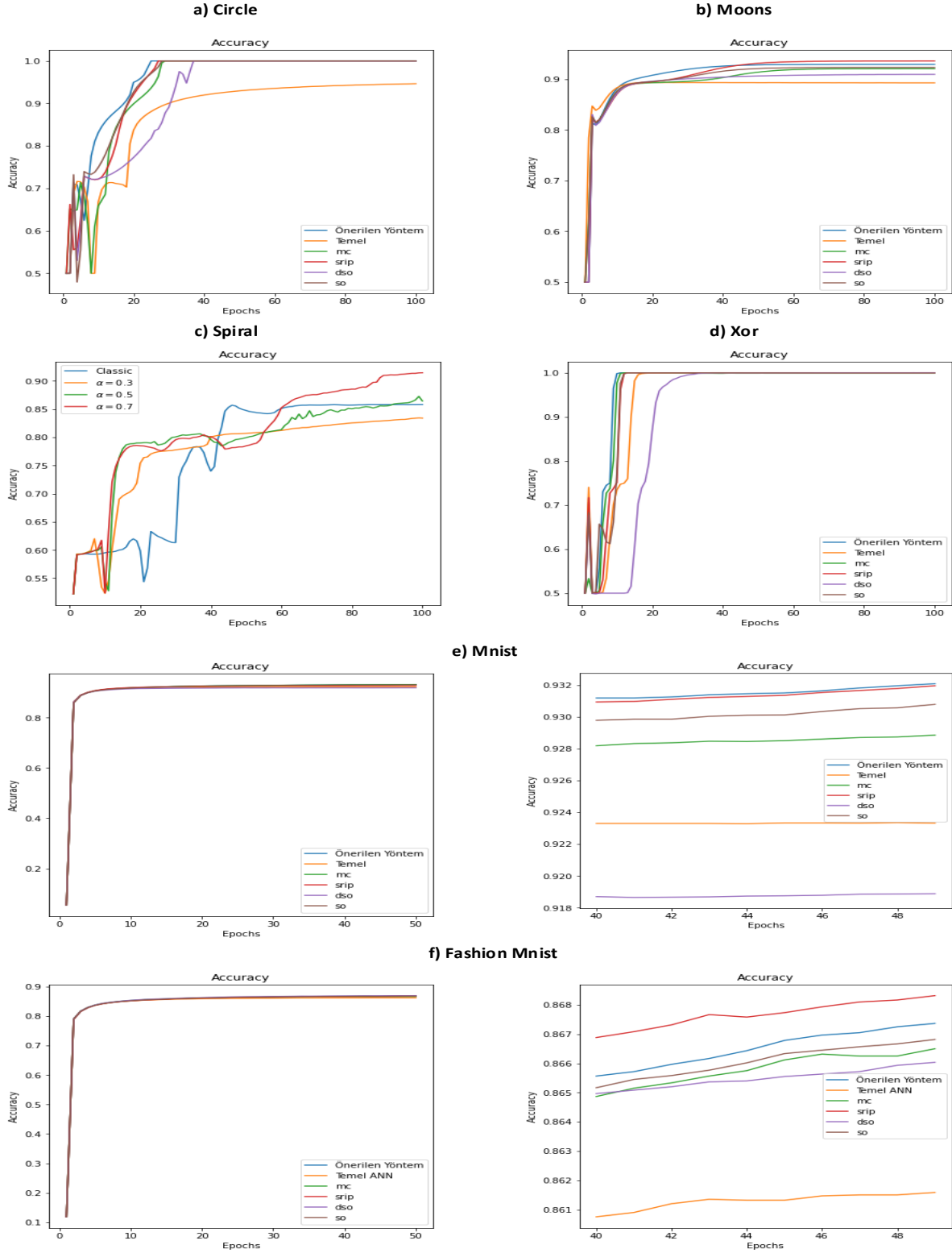
$$G(z) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(z-\bar{z})^2}{2\sigma^2}} \quad (18)$$

Burada  $z$  gri ton seviyesi,  $\bar{z}$  gaus gürültüsünün ortalama değeri ve  $\sigma$  ise gaus gürültüsü standart sapmasıdır. Önerilen yöntem  $\alpha = 0.7$  katsayısı ile eklenmiş YSA ve temel YSA farklı  $\sigma = 0.1, 0.2, 0.3$  standart sapmalı gaus gürültüsü içeren veri kümelerine uygulanmaktadır.

**Çizelge 5.** Önerilen yöntemin gürültü veriler için sonuçları.

	Önerilen Yöntem			Düzenleştirmesiz		
	$\sigma = .1$	$\sigma = .2$	$\sigma = .3$	$\sigma = .1$	$\sigma = .2$	$\sigma = .3$
	Doğruluk					
<b>Circle</b>	<b>99</b>	97,8	<b>89,8</b>	90,4	<b>98,09</b>	77,5
<b>Moon</b>	<b>92,4</b>	<b>90,6</b>	<b>87,6</b>	88,2	87,38	85,1
<b>Spiral</b>	<b>95,3</b>	<b>93,3</b>	<b>89,2</b>	85,7	83,19	87,9
<b>Xor</b>	97,3	<b>90,5</b>	<b>80,7</b>	<b>98</b>	89,4	80,6
<b>Mnist</b>	<b>93</b>	<b>91,9</b>	90,5	92,2	91,6	<b>90,7</b>
<b>F Mnist</b>	<b>86,4</b>	<b>85</b>	<b>83,5</b>	85,7	84,6	83,3

Önerilen yöntem, gürültülü Circle, Xor, Mnist veri kümelerinin bazı durumlarında hassasiyet gösterirken genel olarak gürültüye karşı duyarlılığı yüksektir. Bunun temel nedeni yöntemin, ağırlıklarını regülerize ederek ağın aşırı öğrenmesini engellemesidir. Sonuç olarak ağın test verilerini daha iyi sınıflandırması sağlanmaktadır.



Şekil 5. Önerilen Yöntemin literatürdeki yöntemlerle Doğ-Devir Grafikleri



#### 5.4. Önerilen Yöntemin Literatürdeki Yöntemlerle Kıyaslanması

OD, en temel problemi aşırı öğrenme ve aşırı uyumdur. SO, DSO, MC ve SRIP bu problemi için çeşitli çözümler önermektedir. Önerilen yöntemin, Doğ ve t metriği ile literatürdeki yöntemlerle karşılaştırılması çizelge 5'te gösterilmektedir. Bunun yanında Şekil 5'da eğitim doğruluğu devir grafikleri (Accuracy-Epoch) veri kümeleri için verilmektedir.

Çizelge 5. Literatürdeki Diğer Yöntemlerle Kıyaslanması.

	Düzgünleştirmesiz		SO		DSO		MC		SRIP		Ön. Yöntem	
	Doğ	t	Doğ	t	Doğ	t	Doğ	t	Doğ	t	acc	t
<b>Circle</b>	94,6	<b>24,3</b>	99	42	99	47	99	60	99	54	<b>99</b>	59
<b>Moon</b>	89,3	<b>22</b>	92	40	91,6	42	90,3	57	<b>93,5</b>	56	92,3	55
<b>Spiral</b>	85,8	<b>30</b>	90	48	90,7	54	91	86	90,	83	<b>91,4</b>	87
<b>Xor</b>	99	<b>22</b>	99	39	99	44	99	58	99	46	<b>99</b>	55
<b>Mnist</b>	92,3	<b>78,8</b>	89	80	93	86	92	95	90	89	<b>93,2</b>	92
<b>Fmnist</b>	86,1	<b>78</b>	82,3	86	85,5	90	86	98	<b>87,7</b>	95	86,8	96

Circle, Spiral, Xor ve Mnist veri kümesinde önerilen yöntem, Moons ve Fashion Mnist veri kümesinde ise SRIP literatürdeki yöntemlere göre daha yüksek Doğ sağlamaktadır. Önerilen yöntem, iki vektör çiftleri üzerinde hesaplama yaptığından dolayı SO, DSO, MC ve SRIP yöntemlerine göre t metriğinde kısmen daha uzun sürede yürütülmektedir. Bu metrikte literatürde SO ve DSO algoritması diğer ortogonal yöntemlere göre daha iyi t sunmaktadır. Düzgünleştirme kullanmayan YSA'ları daha iyi t metrik değerine sahiptir. Bunun nedeni SO, DSO, MC, SRIP ve önerilen yöntem ağırlık hesaplama maliyetini artırmasıdır.

#### 5.5. Resnet Sonuçları

OD, derin ağlarda gradyan patlamasını/kaybolmasını engellemek için kullanılmaktadır. Resnet101 ve Resnet28-10 ağında önerilen yöntem test edilmektedir ve bunun yanında literatürdeki yöntemler ile kıyaslanmaktadır.

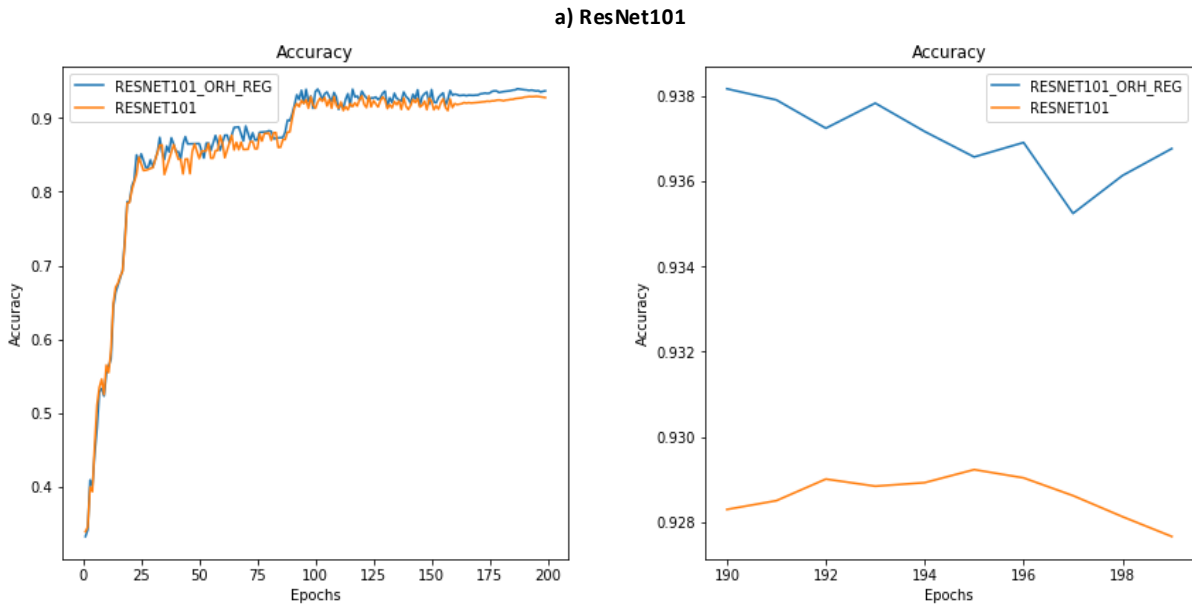
Çizelge 6. Önerilen yöntemin Cifar10 görüntü verileri için sonuçları.

Model-Optimizasyon	Yöntem	Doğ
Resnet-110	Düzgüleştirmesiz	92,96
	SO	93,22
	DSO	92,96
	MC	93,03
	SRIP	93,45
	<b>Önerilen Yöntem</b>	<b>93,90</b>
Resnet28-10	Düzgüleştirmesiz	95,84
	SO	96,24
	DSO	96,14
	MC	96,32
	SRIP	96,4
	<b>Önerilen Yöntem</b>	<b>96,78</b>

Cifar10 veri kümesi Resnet ağlarına giriş olarak verilmektedir. Resnet110 ağı 200 devir (epoch) Adam [44] optimizasyon algoritması ile eğitilmektedir. Öğrenme oranı  $10^{-2}$  ile başlamaktadır. Daha sonra sırayla  $10^{-3}$ ,  $10^{-5}$  ve  $10^{-6}$  olarak 80,120 ve 160 devirlerde sırasıyla azaltılmıştır. Resnet28-10

ağında ise SGD optimizasyon algoritması kullanılarak, momentum değeri 0.9 ve 200 epoch eğitilmektedir. Öğrenme oranı 0.1 ile başlayarak 60, 120, 160 devirlerde %20 azaltılmaktadır. Çizelge 6'da önerilen yöntemin Resnet 110 ve Resnet 28-10 ağındaki doğruluk metriğindeki sonuçları gösterilmektedir.

Resnet mimarileri, ağ hata fonksiyonunu indirgemek için kullanılmaktadır. OD kullanılarak iki farklı Resnet mimarisinin hatası yaklaşık %1 indirgenmektedir. Önerilen yöntem literatürdeki klasik ağırlık zayıflatma yöntemine göre eğitim ve test doğruluğunu iyileşmesini sağlamaktadır. Bu durum Şekil 6' daki Resnet 110 mimarisinde eğitim işleminin Doğ-devir (Accuracy-Epoch) grafiğinde daha açık gösterilmektedir.



**Şekil 6.** Temel Resnet110 ve Önerilen yöntem ile düzenlenen Resnet110 Doğ devir grafikleri.

Şekil 6'da ortogonalite uygulanmamış temel Resnet110 mimarisi ile Önerilen ortogonal yöntemin  $a = 0.7$  sabiti ile Doğ devir (accuracy epoch) grafikleri kıyaslanmaktadır. İlk 60 iterasyon ağı eğitiminde önerilen yöntemin herhangi bir düzenleme sağlamadığı görülmektedir. Bunun yanısıra 60 iterasyondan sonra ağı öğrenme hızı kademeli olarak artış sağlamaktadır. 200 devir eğitilen Resnet110 ağı hatasını azaltmakta ve test doğruluğunu %92,96 dan %93,9 artırmaktadır. Bunun yanında Önerilen yöntem Resnet 28-10 ağında Çizge 6'da görüldüğü üzere yaklaşık %2 oranında test doğruluğunu artırmaktadır.

## 6. Sonuçlar

Bu çalışmada ikili vektörlerin dikliğini kullanan yeni bir ortogonal düzleştirme yöntemi önerilmektedir. Yöntem ile ESA ve YSA'ların aşırı uyum, patlayan/kaybolan gradyan problemine çözüm sağlanması amaçlanmaktadır. Bu amaçla önerilen yöntemi kullanan YSA'lar, sentetik veri kümeleri Xor, Moons, Spiral, Circle ve literatürde sunulan Mnist, Fashion Mnist veri kümelerinin gürültülü ve gürültüsüz senaryolarında Doğ, Duy, Kes ve F skor ve yürütülme zamanı (t) metriklerinde düzleştirilmesiz YSA ile karşılaştırılmaktadır. Bu deneyde yöntem YSA'lara ek bir hesaplama maliyeti getirdiğinden t zamanını artırmaktadır. Fakat diğer tüm metriklerde %1-%5 arası iyileşme sağladığı gözlemlenmektedir. Bunun yanında yöntem, literatürde öne çıkan SO, DSO, MC ve Srip algoritmalarıyla kıyaslanmaktadır. SO, DSO'da Doğ, Mc algoritmasında Doğ, t ve Srip algoritmasında ise Doğ metriğinde önemli iyileşmeler sağlanmaktadır. Ayrıca Önerilen Yöntem Gradyan

patlaması/kaybolması ve aşırı uyum problemlerinde alternatif bir düzgülendirme aracı olarak Resnet 110 ve Resnet 28-10 ağlarında, Cifar10 veri setinde test edilmekte ve SO, DSO, MC VE SRIP algoritmalarıyla hata oranı ve *Doğ* metriğinde karşılaştırılmaktadır. *Doğ* metriğinde Resnet 110 da 93,90 ve Resnet 28-10 %96,78 skorla önemli bir başarımla sağlanmaktadır.

İleriki çalışmalarda önerilen yöntem farklı ESA mimarilerine uygulanarak, medikal imgelerin sınıflama iyileştirilmesi sağlanması amaçlanmaktadır. Özellikle son yıllarda virüslerin ve bakterilerin neden olduğu zatüre hastalığının x-ray görüntülerinden tespitinin iyileştirilmesi için kullanılması planlanmaktadır.

### Çıkar Çatışması Beyanı

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

### Kaynaklar

- [1] Szegedy C, Wei Liu, Yangqing Jia, Sermanet P, Reed S, Anguelov D, et al. Going deeper with convolutions. 2015 IEEE Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit., IEEE; 2015, p. 1–9. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2015.7298594>.
- [2] Krizhevsky A, Hinton GE. ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks. *Adv Neural Inf Process Syst* 2012;1907–1105:1–9.
- [3] Goodfellow IJ, Pouget-Abadie J, Mirza M, Xu B, Warde-Farley D, Ozair S, et al. Generative adversarial nets. *Adv. Neural Inf. Process. Syst.*, 2014.
- [4] Radford A, Metz L, Chintala S. Unsupervised Representation Learning with Deep Convolutional Generative Adversarial Networks 2015.
- [5] Çelik G, Talu MF. Resizing and cleaning of histopathological images using generative adversarial networks. *Phys A Stat Mech Its Appl* 2019;122652. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2019.122652>.
- [6] Iizuka O, Kanavati F, Kato K, Rambeau M, Arihiro K, Tsuneki M. Deep Learning Models for Histopathological Classification of Gastric and Colonic Epithelial Tumours. *Sci Rep* 2020; 10:1504. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-58467-9>.
- [7] Akram T, Lodhi HMJ, Naqvi SR, Naeem S, Alhaisoni M, Ali M, et al. A multilevel features selection framework for skin lesion classification. *Human-Centric Comput Inf Sci* 2020;10:12. <https://doi.org/10.1186/s13673-020-00216-y>.
- [8] Xu W, Keshmiri S, Wang G. Adversarially Approximated Autoencoder for Image Generation and Manipulation. *IEEE Trans Multimed* 2019;21:2387–96. <https://doi.org/10.1109/TMM.2019.2898777>.
- [9] Turkoglu M, Hanbay D, Sengur A. Multi-model LSTM-based convolutional neural networks for detection of apple diseases and pests. *J Ambient Intell Humaniz Comput* 2019. <https://doi.org/10.1007/s12652-019-01591-w>.
- [10] Griebhaber D, Vu NT, Maucher J. Low-resource text classification using domain-adversarial learning. *Comput Speech Lang* 2020;62:101056. <https://doi.org/10.1016/j.csl.2019.101056>.
- [11] Yin Y, Li H, Fu W. Faster-YOLO: An accurate and faster object detection method. *Digit Signal Process* 2020;102:102756. <https://doi.org/10.1016/j.dsp.2020.102756>.
- [12] Wu Y, Zhang Z, Wang G. Unsupervised Deep Feature Transfer for Low Resolution Image Classification. 2019 IEEE/CVF Int. Conf. Comput. Vis. Work., IEEE; 2019, p. 1065–9. <https://doi.org/10.1109/ICCVW.2019.00136>.
- [13] Salimans T, Kingma DP. Weight normalization: A simple reparameterization to accelerate training of deep neural networks. *Adv. Neural Inf. Process. Syst.*, 2016.
- [14] Huang L, Liu X, Lang B, Yu AW, Wang Y, Li B. Orthogonal Weight Normalization: Solution to Optimization over Multiple Dependent Stiefel Manifolds in Deep Neural Networks. 32nd AAAI Conf Artif Intell AAAI 2018 2017.

- [15] Martin CH, Mahoney MW. Implicit Self-Regularization in Deep Neural Networks: Evidence from Random Matrix Theory and Implications for Learning 2018.
- [16] Xu X, Wang G, Sullivan A, Zhang Z. Towards Learning Affine-Invariant Representations via Data-Efficient CNNs 2019.
- [17] Wang J, Zeng Z, Hou ZG. Advances in neural networks. vol. 149. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2014.07.026>.
- [18] Glorot X, Bengio Y. Understanding the difficulty of training deep feedforward neural networks. In: Teh YW, Titterton M, editors. Proc. Thirteen. Int. Conf. Artif. Intell. Stat., vol. 9, Chia Laguna Resort, Sardinia, Italy: PMLR; 2010, p. 249–56.
- [19] He K, Zhang X, Ren S, Sun J. Deep Residual Learning for Image Recognition. 2016 IEEE Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit., IEEE; 2016, p. 770–8. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.90>.
- [20] Veit A, Wilber M, Belongie S. Residual Networks Behave Like Ensembles of Relatively Shallow Networks 2016.
- [21] Mishkin D, Matas J. All you need is a good init 2015.
- [22] Cui L, Zhai H, Lin H. A Novel Orthogonal Extreme Learning Machine for Regression and Classification Problems. Symmetry (Basel) 2019;11:1284. <https://doi.org/10.3390/sym11101284>.
- [23] Shin J, Koo B, Kim Y, Paik J. Deep Binary Classification via Multi-Resolution Network and Stochastic Orthogonality for Subcompact Vehicle Recognition. Sensors 2020;20:2715. <https://doi.org/10.3390/s20092715>.
- [24] Jia K, Li S, Wen Y, Liu T, Tao D. Orthogonal Deep Neural Networks. IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell 2020;1–1. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2019.2948352>.
- [25] Zhang Z, Ma W, Wu Y, Wang G. Self-Orthogonality Module: A Network Architecture Plug-in for Learning Orthogonal Filters. 2020 IEEE Winter Conf. Appl. Comput. Vis., IEEE; 2020, p. 1044–8. <https://doi.org/10.1109/WACV45572.2020.9093466>.
- [26] Bansal N, Chen X, Wang Z. Can we gain more from orthogonality regularizations in training deep CNNs? Adv Neural Inf Process Syst 2018;2018-Decem:4261–71.
- [27] Xie D, Xiong J, Pu S. All You Need is Beyond a Good Init: Exploring Better Solution for Training Extremely Deep Convolutional Neural Networks with Orthonormality and Modulation. 2017 IEEE Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit., IEEE; 2017, p. 5075–84. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2017.539>.
- [28] Zhang L, Li D, Guo Q. Deep Learning From Spatio-Temporal Data Using Orthogonal Regularization Residual CNN for Air Prediction. IEEE Access 2020;8:66037–47. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2985657>.
- [29] Zhu F, Liang Q. OCRNN: An orthogonal constrained recurrent neural network for sleep analysis based on EEG data. Ad Hoc Networks 2020;104:102178. <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2020.102178>.
- [30] Zhang J, Yao R, Ge W, Gao J. Orthogonal convolutional neural networks for automatic sleep stage classification based on single-channel EEG. Comput Methods Programs Biomed 2020;183:105089. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2019.105089>.
- [31] Jalwana MAAK, Akhtar N, Bennamoun M, Mian A. Orthogonal Deep Models as Defense Against Black-Box Attacks. IEEE Access 2020;8:119744–57. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3005961>.
- [32] Rodríguez P, González J, Cucurull G, Goufous JM, Roca X. Regularizing CNNs with Locally Constrained Decorrelations 2016.
- [33] Balestriero R, richard baraniuk. A Spline Theory of Deep Learning. In: Dy J, Krause A, editors. Proc. 35th Int. Conf. Mach. Learn., vol. 80, PMLR; 2018, p. 374–83.
- [34] Donoho DL. Compressed sensing. IEEE Trans Inf Theory 2006;52:1289–306. <https://doi.org/10.1109/TIT.2006.871582>.
- [35] Lu C, Li H, Lin Z. Optimized Projections for Compressed Sensing via Direct Mutual Coherence Minimization 2015.
- [36] Yoshida Y, Miyato T. Spectral Norm Regularization for Improving the Generalizability of Deep Learning 2017.

- [37] Simonyan K, Zisserman A. Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition 2014.
- [38] Griewank A, Walther A. Evaluating derivatives: principles and techniques of algorithmic differentiation. SIAM; 2008.
- [39] Tuncer İH, Kaya H, Tiftikci H. OTOMATİK TÜREV ARAÇLARI İLE AYRIK ADJOINT ÇÖZÜCÜ GELİŞTİRİLMESİ. 7. Havacılık ve Uzay Konf., Samsun/Türkiye: 2018, p. 1.
- [40] D. M. W. Powers. Evaluation: From precision, recall and F-measure to ROC, informedness, markedness & correlation 2011. <https://doi.org/10.9735/2229-3981>.
- [41] Lecun Y, Bottou L, Bengio Y, Haffner P. Gradient-based learning applied to document recognition. Proc IEEE 1998;86:2278–324. <https://doi.org/10.1109/5.726791>.
- [42] Xiao H, Rasul K, Vollgraf R. Fashion-MNIST: a Novel Image Dataset for Benchmarking Machine Learning Algorithms 2017.
- [43] Zagoruyko S, Komodakis N. Wide Residual Networks 2016.
- [44] Kingma DP, Ba J. Adam: A Method for Stochastic Optimization 2014.

## THE EFFECTS OF LASER MICRO-ENGRAVING VARIABLES ON THE SURFACE CHARACTERISTICS OF THE Ti-6Al-7Nb ALLOY

Sertan OZAN<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Yozgat Bozok Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Yozgat, 66100, Türkiye  
Geliş Tarihi/Received Date: 25.11.2023 Kabul Tarihi/Accepted Date: 26.03.2024 DOI: 10.54365/adyumbd.1395281

### ABSTRACT

This investigation aims to analyze the impact of scanning direction, scanning speed, and power level (%) on the surface roughness of Ti-6Al-7Nb alloy specimens subjected to laser micro-engraving. The laser micro-engraving process was carried out by scanning the predetermined geometric configuration six times. Factorial analysis was implemented to determine the impact of system parameters on the surface roughness. Throughout the micro-engraving operations, line spacing, frequency, and pulse width parameters were maintained at a consistent value of 0.03 mm, 100 kHz, and 300 ns, respectively. The optimal conditions for achieving the lowest surface roughness were observed at a scanning speed of 700 mm/s, a power level of 60%, and a scanning direction of 90°. Moreover, in accordance with the experimental parameters employed in this investigation, it was observed that increasing the scanning speed while maintaining a constant power level (%) reduced surface roughness. There was a direct correlation between the increase in power level (%) and a corresponding increase in surface roughness.

**Keywords:** Laser, micro-engraving, Ti-6Al-7Nb alloy, surface roughness

## LAZER MİKRO-OYMA DEĞİŞKENLERİNİN Ti-6Al-7Nb ALAŞIMININ YÜZEY ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ

### ÖZET

Bu araştırma, lazer mikro-oyma işlemine tabi tutulan Ti-6Al-7Nb alaşım numunelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde tarama yönünün, tarama hızının ve lazer gücünün (%) etkisini analiz etmeyi amaçlamaktadır. Lazer oyma işlemi, önceden belirlenmiş geometrik konfigürasyonun altı kez taranmasıyla gerçekleştirildi. Sistem parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini belirlemek için faktöriyel analiz uygulanmıştır. Mikro-oyma işlemleri boyunca tarama aralığı, frekans ve atım genişliği parametreleri sırasıyla 0,03 mm, 100 kHz ve 300 ns'lik bir değerde tutulmuştur. En düşük yüzey pürüzlülüğüne ulaşmak için en uygun koşullar, 700 mm/s tarama hızında, %60 güç seviyesinde ve 90° tarama yönünde gözlemlendi. Ayrıca, bu çalışmada kullanılan deneysel parametrelere uygun olarak, sabit bir güç seviyesi (%) korunurken tarama hızının artırılmasının yüzey pürüzlülüğünü azalttığı gözlemlenmiştir. Güç seviyesindeki artış (%) ile yüzey pürüzlülüğündeki buna karşılık gelen artış arasında doğrudan bir ilişki tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Lazer, mikro-oyma, Ti-6Al-7Nb alaşımı, yüzey pürüzlülüğü

### 1. Introduction

In the contemporary landscape of intense market competition, enterprises heavily depend on state-of-the-art manufacturing technology to achieve elevated production efficiency levels while upholding product quality standards [1, 2]. Furthermore, the prevailing inclination towards reducing the size of products requires the advancement of novel micro- and nano-manufacturing technologies [3].

Micro-processing with industrial lasers is utilized to meet the requirements of intricate and precise geometries; it is general knowledge that accurate tool action and machining strategy are required for

\* e-posta<sup>1</sup> : [sertan.ozan@bozok.edu.tr](mailto:sertan.ozan@bozok.edu.tr) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1932-8308> (Sorumlu Yazar)

intricate details [4]. Laser beam-aided machining (LAM) is a thermal energy-based machining process that operates without physical contact and is capable of being utilized on a diverse array of materials [5]. Concentrating the laser beam to the point where the excess material is melted and vaporized from the parent material can precisely form a gravure through many overlapped microscopic cavities in the metal surface [5]. Instead of the material's mechanical properties, the thermal and optical qualities play a role in this method; laser machining works best with hard materials and materials exhibiting low conductivity and thermal diffusivity [5].

LAM is used for various operations, including milling, engraving, turning, drilling, and grooving. These applications each make use of their one-of-a-kind strategy for the removal of material [6]. In LAM, there are three processes involved in the removal of materials: (1) melting, (2) vaporization, and (3) chemical degradation [6]. The basic machining procedure in laser beam micro-engraving is based on creating grooves with many overlapped craters by evaporating the material in the interaction area according to a strategy [3, 7]. The procedure relies on removing many layers that are requisite to achieve the intended depth; the depth of micro-engraving is determined by the number of layers created by overlapping and spreading parallel grooves over the surface using a specific scanning strategy, as well as the amount of evaporated material [7]. Removal rates exceeding fractions of  $\text{mm}^3/\text{s}$  and surface quality equivalent to chip removal-based procedures distinguish laser-based micro-milling [7].

Many industries use titanium alloys, including the aerospace [8-10] and medical sectors [11-13]. The utilization of titanium alloys in biomedical implants to repair hard tissues is highly sought after due to their exceptional resistance to corrosion, biocompatibility, and strength [14-16]. Titanium and its alloys not only have low thermal conductivity but also demonstrate significant chemical reactivity, particularly with the materials employed in cutting tools [17]. A robust adhesion phenomenon exists at the interface between the tool and chip, as well as at the contact point between the tool and workpiece material, combined with a high cutting temperature; it can cause problems during machining, and cutting tools wear extremely rapidly [17]. In addition, titanium and its alloys are tricky to mill; hence, their machining is sometimes seen as a severe challenge [17-20].

The biomedical sector extensively uses Ti-6Al-4V alloy because of its excellent tensile strength-to-weight ratio and superior corrosion resistance [21, 22]. Notably, anti-corrosion and wear-resistant vanadium-free titanium alloys for orthopedic implant devices have been developed due to worries about potentially harmful vanadium ions from the Ti-6Al-4V alloy [23]. To generate a more biocompatible titanium alloy for biomedical applications, niobium was substituted for vanadium in Ti-6Al-4V to form Ti6Al-7Nb [24]. Compared to the extensively researched Ti-6Al-4V alloy, the Ti-6Al-7Nb alloy has received significantly less attention [25]. This study explores the feasibility of using a laser beam to engrave narrow and complex geometries on the surface of Ti6Al-7Nb alloy, which is particularly prominent in biomedical applications. The concept of the study was built on examining the relationship between surface roughness (Ra) and laser processing parameters on engraved surfaces using 100 W laser marking machine. The parameter combinations used in this work are distinct from those found in the current literature about the micro-engraving capabilities of Ti-6Al-7Nb alloy.

## 2. Experimental Procedure

The Ti-6Al-7Nb alloy was used in the experimental research. Engraving with laser beam-aided machining (LAM) operations were conducted on the circular samples with a diameter of 16 mm. The laser marking machine utilized in this study was equipped with a ytterbium-doped fiber laser capable of generating an output power of up to 100 W (see Figure 1). This machine was employed to carry out laser engraving tasks for the test samples. During the experimental phase, the laser beam was precisely focused at a distance of 369 mm from the workpiece's surface. The standard engraving size was determined as a square measuring 12 mm by 12 mm. The parameters employed for LAM applications included power level (P %), scanning speed (SS), and scanning direction (SD). Every gravure was subjected to six repetitions based on the experimental combinations outlined in Table 1. The experiments were conducted under ambient conditions, at room temperature, without introducing additional gases.

The effectiveness of the parameters for engraved surfaces was analyzed using surface roughness and surface chemistry. The measurement of average surface roughness, denoted as Ra, was employed to assess the surface quality resulting from the laser engraving process. The measurement of surface roughness on the engraved surface was conducted using Mitutoyo (Surftest SJ-400). A total of six surface roughness measurements were conducted after the application of laser engraving to evaluate the characteristics of the surface. Analyses using energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDX) and scanning electron microscopy (FEI-Quanta FEG 450) were performed on the engraved surface to examine its chemical composition and topography.



**Figure 1.** Laser marking machine-100 W

### 3. Results and Discussion

The present study investigates the surface engraving of the Ti-6Al-7Nb alloy using a laser beam. The experiment explores the effects of 18 distinct engraving conditions, which are determined by varying the scanning direction, laser power level (%), and scanning speed parameters. The following sections present the experimental results and evaluations.

#### 3.1. Surface topography

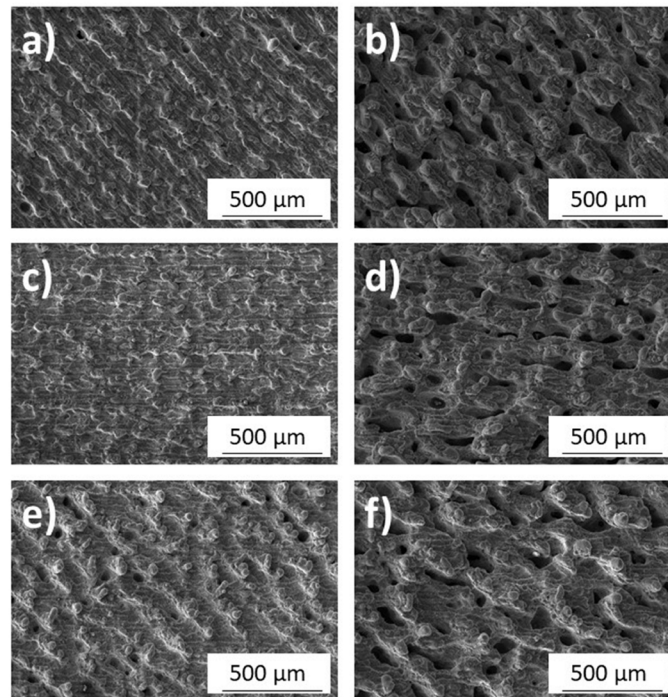
The SEM analysis of the engraved samples subsequent to the laser micro-engraving procedure revealed the presence of a chaotic surface structure (see Figure 2). Figures 2 and 3 illustrate the observable existence of material residuals in particle and layer forms that occurred with forcefully propelled and spattered materials into the immediate vicinity of craters. Spattered materials in the form of layers and particles are concentrated in and near the grooves and extend beyond them. It is evident that these formations exhibit a high degree of efficacy in forming the surface topography. Using LAM technology on the surface of metallic materials produces debris such as drops, slags, spatter layers, and groove rim forms, substantially modifying the surface topography. The scanning direction is paramount in determining the beam's movement path. It has a significant effect on the surface topography by affecting the orientation of metal debris. As a result of the detailed examination of Figure 3, it was determined that there are cracks in different forms on the engraved surfaces. The occurrence of cracks



during the laser engraving process is considered to be influenced by the non-uniform thermal stresses and the rapid cycles of melting and resolidification, as reported elsewhere [26-28].

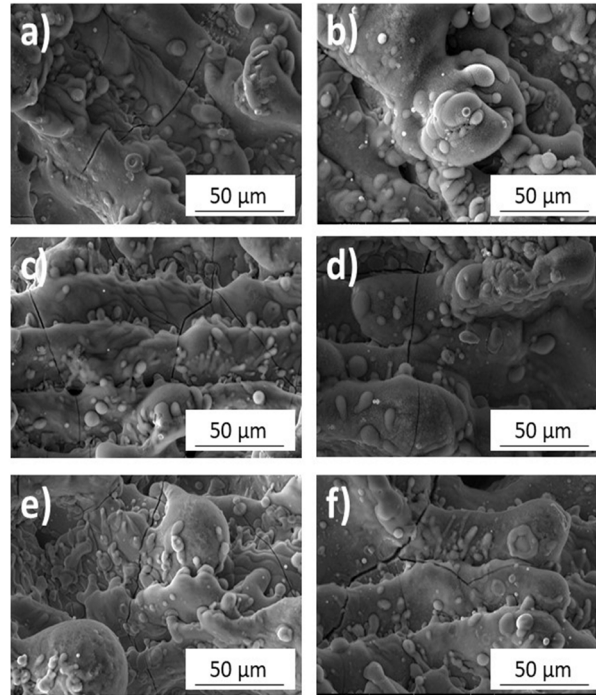
**Table 1.** Experimental setup and surface roughness measurement results

No	Scanning Direction (°)	Power Level (%)	Scanning Speed (mm/s)	Ra ( $\mu\text{m}$ )
L-1	45	60	200	17.1
L-2	45	60	450	14.2
L-3	45	60	700	9.9
L-4	45	90	200	23.2
L-5	45	90	450	22
L-6	45	90	700	17.3
L-7	90	60	200	16.6
L-8	90	60	450	14.3
L-9	90	60	700	7.5
L-10	90	90	200	22
L-11	90	90	450	21.6
L-12	90	90	700	16.6
L-13	45/90	60	200	19
L-14	45/90	60	450	18.7
L-15	45/90	60	700	16.9
L-16	45/90	90	200	22.7
L-17	45/90	90	450	22.6
L-18	45/90	90	700	20.4



**Figure 2.** SEM images of the engraved samples: a) L-3; b) L-6; c) L-9; d) L-12; e) L-15; f) L-18

Figure 4 depicts the representative images of the elemental mapping of engraved surfaces. The phenomenon of plasma formation is observed when metal is exposed to laser beams. The occurrence of recoil pressure results in the displacement of the liquid metal present in the cavity after the vaporization stage, leading to its movement away from the cavity [29]. This mechanism is considered to have a distinct impact on the formation of surface topography and chemical structure. The distribution of elements on the engraved surface is visualized in different colors, as seen in Figure 4.



**Figure 3.** Surface formations of the engraved sample: a) L-3; b) L-6; c) L-9; d) L-12; e) L-15; f) L-18

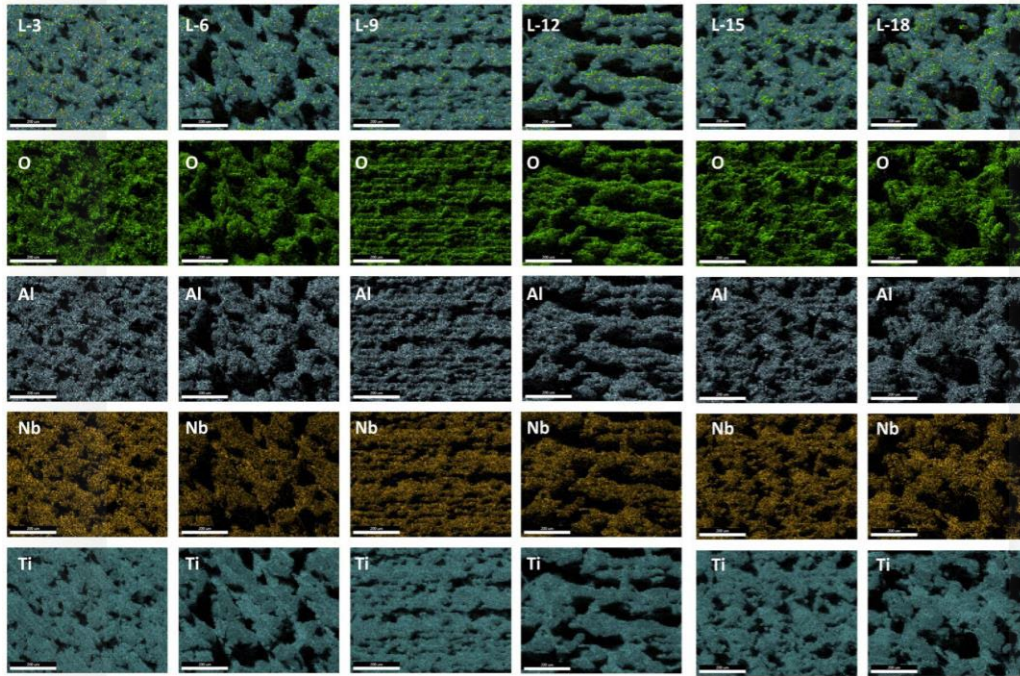
### 3.2. The Impact of Parameters on Surface Roughness

Table 1 presents the findings of the surface roughness measurements conducted to ascertain the impact of the parameters on the surface roughness. Based on the data presented in Table 1, the primary impacts of the parameters on Ra were analyzed and presented in Figure 5. According to the mean surface roughness values in Figure 5, the highest and lowest surface roughness values are achieved when the scanning direction is adjusted at 45°/90° and 90°, respectively. Conversely, the scanning direction resulting in the highest and lowest surface roughness involves moving the beam at 45° and 90°, respectively (Table 1). Power is a fundamental parameter that quantifies the energy density per unit area. A phenomenon is that, at a constant frequency, the energy of a laser pulse exhibits an upward trend as the pulse power is increased. The relation for laser pulse energy is given in Eq. 1 [30].

$$\text{Laser Pulse Energy (Joules)} = \left( \frac{\text{Average Power (Watts)}}{\text{Frequency (Hz)}} \right) \quad (1)$$

For the two different power levels (%) selected within the scope of this study, the highest laser pulse energy value is reached with a high power level of 90%. As a result of the increase in the laser pulse energy, a high amount of material vaporization occurs, after which a rough surface is reached. Upon examination of Figure 5, it becomes evident that there is a positive correlation between the power

level (%) and the mean surface roughness, indicating that as the power level (%) increases, the mean surface roughness also increases. The surface roughness values ranged from 7.5  $\mu\text{m}$  to 23.2  $\mu\text{m}$ , with the lowest value observed at a power level of 60% and the highest at a power level of 90% (Table 1).



**Figure 4.** Representative images of elemental mapping of engraved surfaces for L-3, L6, L9, L-12, L15 and L18 specimens

The relationship between scanning speed and mean surface roughness is demonstrated in Figure 5. It has been ascertained that an increase in scanning speed is associated with a discernible trend toward a reduction in surface roughness, as reported elsewhere [28, 31-35]. This phenomenon's observed impact was found to be particularly notable within the range of scanning speeds spanning from 450 mm/s to 700 mm/s. The term "scanning speed" pertains to the velocity at which the laser beam moves in the predetermined scanning direction. This speed impacts the degree of overlap between successive laser beams. The overlap of the laser beams in a specific direction is expressed as pulse overlap; the amount of pulse overlap is calculated by Eq. 2 [36]. It is clear that the frequency also has a significant effect on the pulse overlap ratio, such as the scanning speed for a fixed pulse diameter.

$$O_p (\%) = \left( 1 - \frac{\text{scan speed}}{\text{laser beam diameter} \times \text{frequency}} \right) \times 100 \quad (2)$$

When a constant frequency value is used, resulting in an overlap, a reduction in scanning speed tends to increase the degree of pulse overlap. An increase in the degree of overlap per unit length leads to a rise in the area affected by the energy density and, as a result, an increase in the amount of evaporated materials and residual debris. The maximum surface roughness observed was 23.2  $\mu\text{m}$ , related to the lowest scanning speed of 200 mm/s (Table 1). The scanning speed of 700 mm/s resulted in a minimum surface roughness of 7.5  $\mu\text{m}$  (Table 1).

Interaction plots taking into account the average surface roughness and the relationship of the parameters with the surface roughness are shown in Figure 6. When the effect of scanning direction and power level (%) interaction is examined, all scanning strategies reveal a similar trend. Nevertheless, it becomes evident that the scanning strategies at 45° and 90° yield similar outcomes. When analyzing the

impact of the interaction between scanning direction and scanning speed, it is observed that all scanning strategies, namely 90°, 45°, and 45°/90°, exhibit a comparable effect. The experimental data suggests that the increase in scanning speed is associated with a decrease in surface roughness. The relationship between scanning speed and surface roughness is characterized by a consistent reduction in surface roughness as scanning speed increases, following a linear trend. When the effect of the interaction of the power level (%) with the scanning speed on the mean surface roughness is examined, it is seen that all power levels (%) for each scanning speed reveal a different effect on the surface roughness. It has been determined that an increase in scan speed is associated with a decrease in mean surface roughness for two power levels (%).

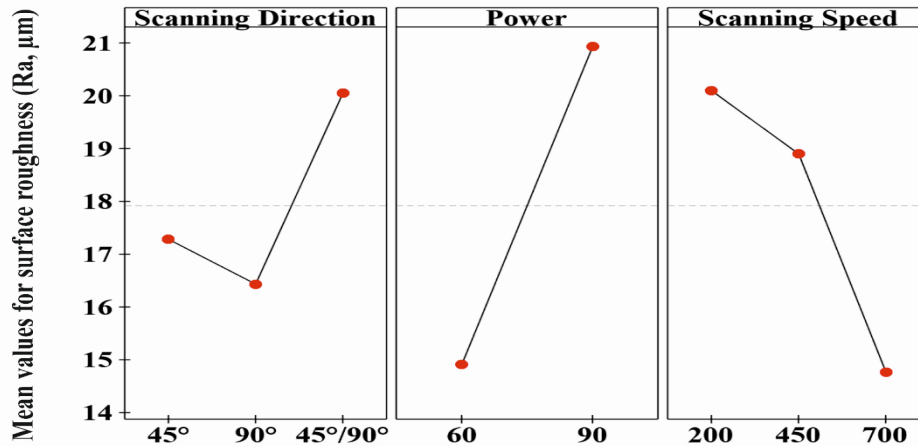


Figure 5. The primary impacts of the parameters on Ra

The analysis of variance (ANOVA) was conducted to statistically investigate the impact of each parameter on the surface roughness. The statistical data results are given in Table 2. The statistical significance of each parameter was assessed by examining the p-value. If the p-value was found to be less than 0.05, the corresponding parameter was determined to be statistically significant. Otherwise, the parameter is considered insignificant if the p-value exceeds 0.05. Upon examination of the p-values presented in Table 2, it is observed that the p-value for all parameters is less than 0.05. This finding suggests that every parameter exerts a statistically significant influence on the surface roughness. The calculated values of the parameter effects on surface roughness were also determined. Accordingly, power level (%) has the highest effect on surface roughness at 49.0%, scanning speed has the effect on surface roughness with a ratio of 28.2%, and scanning direction with a ratio of 12.9%.

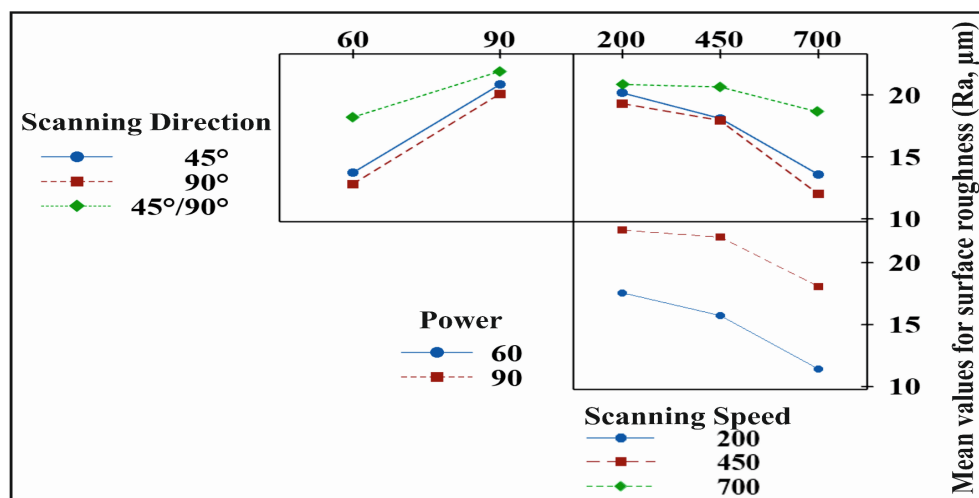


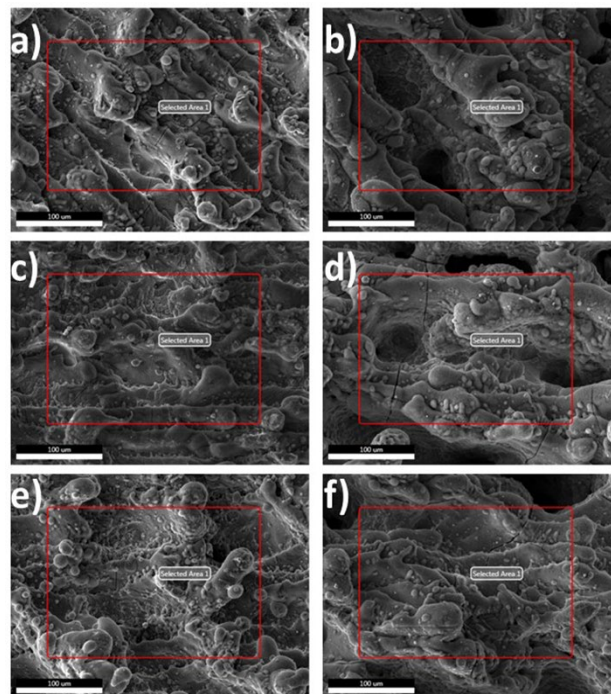
Figure 6. The interaction graphs of the parameters

**Table 2.** ANOVA results for surface roughness (Ra)

Source	df	Adj SS	F-Value	p-Value	Percentage Contribution
Scanning Direction	2	42.91	7.86	0.007	12.9
Power Level (%)	1	163.20	59.79	0.000	49.0
Scanning Speed	2	93.94	17.21	0.000	28.2
Error	12	32.76			9.8
Total	17	332.81			

### 3.3. Surface chemical composition

Table 3 presents the proportions of the identified elements on the surface that underwent laser engraving. The results presented in this section comprise the Energy Dispersive X-ray (EDX) analysis that was performed on the designated region (Figure 7). The first comparison was made for the oxygen (O) concentration of the engraved surfaces. After conducting a comparison of the oxygen contents on the selected surfaces, it was observed that the engraved sample L-3 displayed the lowest oxygen content, detected at 31.27%. The oxygen contents in increasing order for L-3, L-9, L-15, L-18, L-6, and L-12 surfaces is 31.27%, 35.61%, 35.73%, 40.42%, 41.55%, and 44.21%, respectively. The detected presence of oxygen in the analysis is hypothesized to originate from metal oxides formed throughout and subsequent to the relevant process, as reported elsewhere [34, 35]. The respective proportions of carbon content in L-3, L-6, L-9, L-12, L-18, and L-15 are measured to be 2.51%, 2.72%, 2.79%, 3.10%, 3.13%, and 3.50%, respectively. The presence of carbon that has been detected could potentially be ascribed to the contamination of carbon rather than being a result of the laser surface treatment procedures as reported elsewhere [32, 37, 38].



**Figure 7.** Selected areas for SEM-EDS analysis on laser engraved specimens: a) L-3; b) L-6; c) L-9; d) L-12; e) L-15; f) L-18



**Table 3.** The results of SEM-EDS on engraved surfaces

Nos.	Elements' ratios (wt.%)				
	C	O	Al	Nb	Ti
L-3	2.51	31.27	3.32	3.35	59.56
L-6	2.72	41.55	3.38	2.46	49.89
L-9	2.79	35.61	3.15	3.50	54.95
L-12	3.10	44.21	3.30	2.36	47.04
L-15	3.50	35.73	3.00	2.86	54.91
L-18	3.13	40.42	3.44	2.83	50.18

#### 4. Conclusion

Surface roughness values ranged from 7.5  $\mu\text{m}$  to 23.2  $\mu\text{m}$ ; the values of 7.5  $\mu\text{m}$  and 23.2  $\mu\text{m}$  corresponded to the 60% and 90% power levels, respectively. The highest surface roughness value was observed when the scanning direction was set at an angle of 45°, and the scanning speed was set to 200 mm/s. In contrast, the surface roughness value was found to be the lowest when the scanning speed was adjusted to 700 mm/s and the scanning direction was set at an angle of 90°. Notably, the mean surface roughness results indicate that the scanning direction of 45°/90° yields the highest mean surface roughness, whereas the scanning direction of 90° yields the lowest. Surface roughness tends to decrease with increasing scanning speed. However, as power level (%) increased, so did surface roughness. The study reveals that the scanning speed has a significant impact of 28.2% on surface roughness, whereas the scanning direction has a comparatively lower influence of 12.9%. The variable of power level (%) demonstrates the most significant impact on surface roughness, explaining 49% of the observed variability. By eliminating the challenges associated with cutting tools, laser micro-engraving of Ti-6Al-7Nb alloy is evaluated to be an alternative to conventional manufacturing techniques for the precision production of components in the biomedical industry.

#### 5. Ethics committee approval and conflict of interest statement

Obtaining ethics committee permission for the prepared article is unnecessary. Additionally, there is no conflict of interest with any person/institution.

#### References

- [1] Bakhtiyari AN, Wang Z, Wang L, Zheng H. A review on applications of artificial intelligence in modeling and optimization of laser beam machining, *Optics & Laser Technology* 2021; 135: 106721.
- [2] Rao RV, Kalyankar VD. Optimization of modern machining processes using advanced optimization techniques: a review, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 2014; 73: 1159-1188.
- [3] Brousseau EB, Dimov SS, Pham DT. Some recent advances in multi-material micro- and nano-manufacturing, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 2010; 47: 161-180.
- [4] Saklakoglu IE, Kasman S. Investigation of micro-milling process parameters for surface roughness and milling depth, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 2011; 54: 567-578.
- [5] Dubey AK, Yadava V. Laser beam machining—A review, *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 2008; 48: 609-628.

- [6] Parandoush P, Hossain A. A review of modeling and simulation of laser beam machining, *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 2014; 85: 135-145.
- [7] Romoli L. Flattening of surface roughness in ultrashort pulsed laser micro-milling, *Precision Engineering* 2018; 51: 331-337.
- [8] Ramesh S, Karunamoorthy L, Palanikumar K. Measurement and analysis of surface roughness in turning of aerospace titanium alloy (gr5), *Measurement* 2012; 45: 1266-1276.
- [9] Peters M, Kumpfert J, Ward CH, Leyens C. Titanium Alloys for Aerospace Applications, *Advanced Engineering Materials* 2003; 5: 419-427.
- [10] Boyer RR. An overview on the use of titanium in the aerospace industry, *Materials Science and Engineering: A* 1996; 213: 103-114.
- [11] Ozan S, Lin J, Li Y, Ipek R, Wen C. Development of Ti–Nb–Zr alloys with high elastic admissible strain for temporary orthopedic devices, *Acta Biomaterialia* 2015; 20: 176-187.
- [12] Ozan S, Lin J, Li Y, Wen C. New Ti-Ta-Zr-Nb alloys with ultrahigh strength for potential orthopedic implant applications, *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials* 2017; 75: 119-127.
- [13] Lin J, Ozan S, Li Y, Ping D, Tong X, Li G, Wen C. Novel Ti-Ta-Hf-Zr alloys with promising mechanical properties for prospective stent applications, *Scientific Reports* 2016; 6: 37901.
- [14] Munir K, Lin J, Wright PFA, Ozan S, Li Y, Wen C. Mechanical, corrosion, nanotribological, and biocompatibility properties of equal channel angular pressed Ti-28Nb-35.4Zr alloys for biomedical applications, *Acta Biomaterialia* 2022; 149: 387-398.
- [15] Lin J, Ozan S, Munir K, Wang K, Tong X, Li Y, Li G, Wen C. Effects of solution treatment and aging on the microstructure, mechanical properties, and corrosion resistance of a  $\beta$  type Ti–Ta–Hf–Zr alloy, *RSC Advances* 2017; 7: 12309-12317.
- [16] Ozan S, Munir K, Biesiekierski A, Ipek R, Li Y, Wen C. 1.3.3A - Titanium Alloys, Including Nitinol. *In* Wagner W.R., Sakiyama-Elbert S.E., Zhang G., Yaszemski M.J. (ed), *Biomaterials Science (Fourth Edition)*. Academic Press, Elsevier 2020; Cambridge, 229-247.
- [17] Jawaid A, Che-Haron CH, Abdullah A. Tool wear characteristics in turning of titanium alloy Ti-6246, *Journal of Materials Processing Technology* 1999; 92-93: 329-334.
- [18] Alahmari AM, Darwish S, Ahmed N. Laser beam micro-milling (LBMM) of selected aerospace alloys, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 2016; 86: 2411-2431.
- [19] Bai H, Zhong L, Kang L, Liu J, Zhuang W, Lv Z, Xu Y. A review on wear-resistant coating with high hardness and high toughness on the surface of titanium alloy, *Journal of Alloys and Compounds* 2021; 882: 160645.
- [20] Courant B, Hantzpergue JJ, Benayoun S. Surface treatment of titanium by laser irradiation to improve resistance to dry-sliding friction, *Wear* 1999; 236: 39-46.
- [21] Niinomi M. Mechanical biocompatibilities of titanium alloys for biomedical applications, *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials* 2008; 1: 30-42.
- [22] Niinomi M. Recent research and development in titanium alloys for biomedical applications and healthcare goods, *Science and Technology of Advanced Materials* 2003; 4: 445.
- [23] Challa VSA, Mali S, Misra RDK. Reduced toxicity and superior cellular response of preosteoblasts to Ti-6Al-7Nb alloy and comparison with Ti-6Al-4V, *Journal of Biomedical Materials Research Part A* 2013; 101A: 2083-2089.
- [24] Semlitsch M, Staub F, Weber H. Titanium-Aluminium-Niobium Alloy, *Development for Biocompatible, High Strength Surgical Implants - Titan-Aluminium-Niob-Legierung, entwickelt für körperverträgliche, hochfeste Implantate in der Chirurgie, Biomedical Engineering/Biomedizinische Technik* 1985; 30: 334-339.
- [25] Costa TBd, Pereira RBD, Lauro CH, Brandão LC, Davim JP. Statistical learning and optimization of the helical milling of the biocompatible titanium Ti-6Al-7Nb alloy, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 2023; 125: 1789–1813
- [26] Eghbali N, Naffakh-Moosavy H, Sadeghi Mohammadi S, Naderi-Manesh H. The influence of laser frequency and groove distance on cell adhesion, cell viability, and antibacterial characteristics of Ti-6Al-4V dental implants treated by modern fiber engraving laser, *Dental Materials* 2021; 37: 547-558.

- [27] Manninen M, Hirvimäki M, Poutiainen I, Salminen A. Effect of Pulse Length on Engraving Efficiency in Nanosecond Pulsed Laser Engraving of Stainless Steel, *Metallurgical and Materials Transactions B* 2015; 46: 2129-2136.
- [28] Kasman Ş, Uçar İC, Ozan S. Investigation into the effects of laser texturing parameters on surface properties of Ti-6Al-4V ELI biomedical alloy, *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering* 2023; 45: 231.
- [29] Wang Y, Zhang M, Li K, Hu J. Study on the surface properties and biocompatibility of nanosecond laser patterned titanium alloy, *Optics & Laser Technology* 2021; 139: 106987.
- [30] Hribar L, Gregorčič P, Senegačnik M, Jezeršek M. The Influence of the Processing Parameters on the Laser-Ablation of Stainless Steel and Brass during the Engraving by Nanosecond Fiber Laser, *Nanomaterials* 2022; 12(2): 232.
- [31] Kasman Ş, Ozan S. Machinability of AA 2024 aluminum alloy by fiber laser engraving process, *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik* 2023; 54: 646-655.
- [32] Kasman Ş, Uçar İC, Ozan S. The Effects of Laser Surface Texturing Parameters on the Surface Characteristics of Biomedical-Grade Stainless Steel, *Journal of Materials Engineering and Performance* 2023; DOI: 10.1007/s11665-023-08374-7
- [33] Kasman Ş, Uçar İC, Ozan S. Laser Surface Texturing of Co–Cr–Mo Alloy for Biomedical Applications: A Case Study for the Effects of Process Parameters on Surface Properties, *Journal of Bionic Engineering* 2023; 20: 1967-1984.
- [34] Kasman Ş, Uçar İC, Ozan S. Investigation of laser surface texturing parameters of biomedical grade Co-Cr-Mo alloy, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 2023; 125: 4271-4291.
- [35] Ozan S, Bilgin A, Kasman Ş. Laser textured Ti-6Al-7Nb alloy for biomedical applications: An investigation of texturing parameters on surface properties, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: Journal of Engineering in Medicine* 2023; 237(10):1139-1153
- [36] Menci G, Demir AG, Waugh DG, Lawrence J, Previtali B. Laser surface texturing of  $\beta$ -Ti alloy for orthopaedics: Effect of different wavelengths and pulse durations, *Applied Surface Science* 2019; 489: 175-186.
- [37] Hočevar M, Šetina Batič B, Godec M, Kononenko V, Drobne D, Gregorčič P. The interaction between the osteosarcoma cell and stainless steel surface, modified by high-fluence, nanosecond laser pulses, *Surface and Coatings Technology* 2020; 394: 125878.
- [38] Purnama A, Furlan V, Dessi D, Demir AG, Tolouei R, Paternoster C, Levesque L, Previtali B, Mantovani D. Laser surface texturing of SS316L for enhanced adhesion of HUVECs, *Surface Engineering* 2020; 36: 1240-1249.



## UNDAMPED FORCED VIBRATION ANALYSIS OF CASTELLATED STEEL BEAM WITH CIRCULAR, SQUARE AND PENTAGONAL WEB OPENINGS

**Maryam HASHM<sup>1\*</sup>, Masihullah NOORI<sup>2</sup>, Ahmad Reshad NOORI<sup>3</sup>, Silda Gazi DOORI<sup>4</sup>**

<sup>1,2,3,4</sup> İstanbul Gelişim Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, İstanbul, 34315,  
Türkiye

Geliş Tarihi/Received Date: 26.08.2023 Kabul Tarihi/Accepted Date: 08.10.2024 DOI: 10.54365/adyumbd.1350473

### ABSTRACT

This study conducts a comprehensive investigation into the influence of web opening shapes on the forced vibration response of castellated steel beams, particularly emphasizing the temporal aspects of the dynamics. These beams are widely employed in practice due to their enhanced structural efficiency and reduced weight, but the incorporation of web openings may potentially impair their shear and bending strength capacities. Three types of web opening shapes are considered. Finite element methodology is employed using ANSYS. The investigation encompasses the forced vibration behavior of castellated steel beams subjected to varying loads. Additionally, the impact of various parameters, including the beam's geometry, and boundary conditions, on the dynamic behavior of castellated beams are analyzed. The obtained results demonstrate that the web opening shape has significant influence on the vibration amplitudes and oscillation periods of castellated steel beams.

**Keywords:** *Castellated steel beam, finite element analysis, forced vibration, dynamic behavior, web opening shapes*

## GÖVDESİNDE DAİRESEL, KARE VE BEŞGEN BOŞLUK BULUNDURAN PETEK KİRİŞLERİN SÖNÜMSÜZ ZORLANMIŞ TİTREŞİM ANALİZİ

### ÖZET

Bu çalışma, dinamik yüklerin zaman bağlı özelliğini vurgulayarak gövde boşluk tiplerinin çelik petek kirişlerin zorlanmış titreşim davranışına etkisini ele almaktadır. Bu kirişler, gelişmiş yapısal özellikleri ve azaltılmış ağırlıkları nedeniyle pratikte yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, gövde boşluklarının bulundurulması, bu kirişlerin kesme ve burulma mukavemeti kapasitelerini potansiyel olarak azaltmaktadır. Bu çalışmada, üç farklı boşluk tipi dikkate alınmıştır. Petek kirişlerin zamana bağlı yükler etkisinde zorlanmış titreşimini incelemek için sonlu elemanlar yöntemine dayalı ANSYS programı kullanılmıştır. Ayrıca, kirişin geometrisi, sınır koşulları gibi parametrelerin petek kirişlerin dinamik davranışına etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, boşluk tiplerinin zorlanmış titreşim genliklerine ve salınım periyotlarına önemli bir etki ettiğini göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** *Petek çelik kiriş, sonlu elemanlar analizi, zorlanmış titreşim, dinamik davranış, gövde boşluk şekli*

\*e-posta <sup>1</sup> [maryamayad176@gmail.com](mailto:maryamayad176@gmail.com)  
e-posta <sup>2</sup> [200406255@ogr.gelisim.edu.tr](mailto:200406255@ogr.gelisim.edu.tr)  
e-posta <sup>3</sup> [amoori@gelisim.edu.tr](mailto:amoori@gelisim.edu.tr)  
e-posta <sup>4</sup> [eng.seldagazi@gmail.com](mailto:eng.seldagazi@gmail.com)

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0004-4294-3995> (Sorumlu Yazar)  
ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-7074-1494>  
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6232-6303>  
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0977-1253>

## 1. Introduction

Castellated beams are widely used in civil engineering and construction projects due to their enhanced strength and improved performance. These beams are steel section members with various shapes of web openings and offer several advantages over traditional solid beams. The web openings are created to facilitate the installation of services, minimize weight, or improve architectural design. The structural performance of these elements is critical to ensure safety and durability. To evaluate the behavior of these elements under various loads, static and dynamic analyses are performed. Static analysis involves assessing the load distribution, stress analysis, shear capacity, and flexural capacity of the element. The dynamic analysis examines the natural frequencies, mode shapes, vibration damping, resonance, and dynamic response of the element. Their resistance is particularly affected by the shear stress around the web opening. Therefore, the presence of web openings reduces the shear strength of the beam and can lead to various failure modes. Various failure modes have been identified in castellated beams, including the formation of the Vierendeel mechanisms, rupture of welded joints, and shear buckling in web posts. With these factors in mind, engineers can design castellated beams with optimal deflection, stress distribution, shear capacity, and harmonic response. When evaluating the stresses in castellated beams ANSYS can be utilized. It provides a comprehensive analysis of stress distribution within the beam, considering important factors and aspects like geometry, loading conditions, and material properties. This method offers a higher level of accuracy and can reveal valuable insights into the behavior of the structure under different loadings. On the other hand, performing manual design calculations for an initial estimate is a simpler and quicker approach to perform, but it may not capture all the complexities of the beam's behavior. These calculations are based on established formulas and assumptions, which can lead to reasonable results for basic designs but may not be sufficient for more intricate or demanding structures. Nevertheless, they can still be useful for ensuring compliance with building codes and standards, especially when used in conjunction with the more advanced ANSYS analysis [1]. The load-bearing capacity of castellated beams can be increased by using vertical stiffeners around the opening and at the beginning of the web opening [2]. The use of stiffeners in the web area of castellated beams has proven effective in increasing strength and minimizing deflection. Proper selection of the stiffener's dimensions is essential to ensuring optimal performance and structural integrity of the beam [3]. A comparison was made using a circular and octagonal ring stiffener around an octagonal web opening, and it was found that the circular stiffener was more efficient in strengthening the beam [4]. The specific properties and performance of castellated beams can vary depending on design, materials used, and construction methods [5]. The ultimate strength capacity of composite castellated beam is a composite action of both steel section and concrete element which creates an efficient combination of tensile and compressive strength [6]. By conducting static and dynamic analysis of castellated beams, engineers can determine their ability to withstand various loads and forces [7]. The deflection behavior of castellated beams under uniformly distributed transverse loading depends on factors such as beam dimensions, material properties, and support conditions [8]. The specific behavior of castellated columns under axial compression buckling at elevated temperatures depends on factors such as the column's geometry, material properties, fire protection measures, and design considerations, which highlights the need for careful consideration [9]. Assessing the dynamic behavior of castellated beams under loading conditions is crucial to preventing instability or buckling phenomena [10]. When an external force acts upon beams, causing them to bend, the desired outcome is to attain maximum shear strength first, followed by maximum bending moment, and finally maximum deflection [11]. While larger spacing of openings has minimal impact on mechanical properties, careful consideration must be given to the design and placement of openings to maintain adequate strength and stability [12]. Different types of web openings (hexagonal, circular, rectangular, etc.) exhibit varying degrees of fatigue life, with circular castellated steel beams demonstrating the best performance [13]. The frequency of the curved castellated beams can be affected by the shape of the web openings [14]. Throughout an analysis that was carried out in ABAQUS, it was observed that castellated beams provide increased strength by increasing cross-sectional depth without adding significant weight [15]. Designers

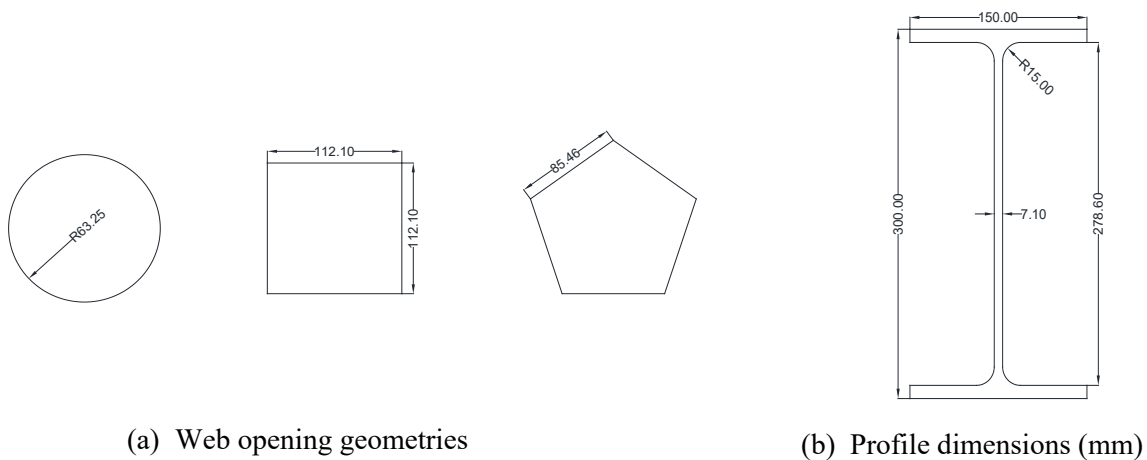
and engineers can develop optimized guidelines and recommendations for enhancing the shear resistance and overall performance of castellated beam chassis in real-world applications [16]. Several researchers have focused their studies on different aspects of castellated beam behavior. These studies investigated the optimization of stress concentration, deflection, shear strength, and web opening using the (FEM) and advanced software tools such as ABAQUS and ANSYS. The results of these studies have provided valuable insight into the design and performance of castellated beams [17]. Deepa et al. [18] analyzed the nonlinear behavior of a castellated beam using the (FEM). It was found that the provision of fillets on the corners of the web openings decreases the stress concentration of the castellated beam. Using the (FEM) a castellated beam optimization study was done by Shendge and Shinde [19]. The conclusion of their study states that castellated beams with fillets in their web openings have greater load-bearing capacity than castellated beams with rectangular or hexagonal-shape web openings when they have the same opening height. Jamadar and Kumbhar [20] used ABAQUS software to study a castellated beam with a hexagonal web opening, and it was observed that the lack of shear transfer area played a key role in the local failure of the beam. A simply supported beam with a hexagonal web opening under a uniformly distributed transverse load was investigated by Elaiwi et al. [21] using the potential energy method. They have found that the shear effect should be considered in the deflection of the castellated beams, specifically for those beams that have wide or narrow sections and short or medium span lengths. Doori and Noori [22] investigated the bending analysis of six castellated beams having different web openings using the (FEM). The effect of web opening on the flexural behavior of hybrid beams was studied analytically by Morkhade et al. [23]. They have found out through that castellated beams with circular openings have the best performance amongst other shapes of openings.

The utilization of diverse materials in structural beams has been a crucial aspect of modern engineering, particularly with the increasing popularity of lightweight and high-performance materials. Among these materials, aluminum stands out as a "wonder metal" owing to its exceptional physical properties and corrosion resistance. In welded aluminum alloy box castellated beams, the versatility of Alloy 6061-T6 allows engineers to carefully weigh the tradeoffs between performance and cost, thereby tailoring their designs to meet specific requirements [24]. Ertürkmen and Noori [25] investigated the static behavior of curved castellated beams using (FEM), and focused on the effect of the web opening geometry on the displacement and stress values of castellated beams. From the obtained results, the maximum total displacement values occur in the square web opening type, while the smallest maximum total displacement values occur when the circular web opening type is used. ANSYS Workbench software was used for static and dynamic analysis of castellated beams for four types of web opening shapes in [26]. The (FEM) stands as a proficient numerical procedure that has been effectively deployed in addressing various structural mechanics problems. [27-30].

To the best of authors' knowledge, the review of literature suggests a dearth of published papers examining the influence of web opening geometry on the forced vibration behavior of castellated steel beams. The novelty of the present research lies in its endeavor to address this gap in knowledge, thereby furnishing a benchmark solution that may serve as a reference point for subsequent investigations within this field. This study investigates the transient response of castellated steel beams. The material of the beam is assumed to be isotropic homogenous. Fixed-fixed supported type of boundary conditions is considered in this study. three distinct web openings (circular, square and pentagonal) are examined and the results are compared for several time steps, such as 32, 64, 126, 256, 512 and 1024. Through extensive research and analysis, engineers can optimize castellated steel beams to meet specific design needs and improve overall performance under the dynamic loads.

## 2. Materials and Method

This study aims to analyze the undamped forced vibration response of steel castellated beams with three different shapes of web openings. The transient response of the considered beams is carried out by using step by step time integration method (Newmark- $\beta$ ) for (32, 64, 128, 256, 512, and 1024 time steps). First, analysis of (15 periods) has been done to identify the convergence of time steps and then results of web opening shapes are compared for (6 periods). Three IPE300 profiles are used with circular, square, and pentagonal web openings. The span length of all the beams is (3 m), and each beam has (15) openings in its web. The length between the center of the opening and the support is considered to be ( $\alpha = 240$  mm), the distance between the center of the opening and the flange is ( $\beta = 124.3$  mm), and each opening is ( $\gamma = 180$  mm) apart. Web opening geometries and profile dimensions are given in Fig.1. The material properties of castellated beams are presented in Table 1. Three models are used in this study, the geometric properties of web opening shapes for these models are given in Table 2.



**Figure 1.** Geometric properties of castellated steel beam

**Table 1.** Material properties

Young's Modulus (GPa)	Poisson's Ratio	Mass Density (Kg/m <sup>3</sup> )	Shear Modulus (GPa)
200	0.3	7850	76.923

**Table 2.** Geometric properties of web openings

Model	Profile	Web opening shape	Area of the openings (mm <sup>2</sup> )	$\alpha$ (mm)	$\beta$ (mm)	$\gamma$ (mm)	Number of openings in web
1	IPE300	Circular	12561.76	240	124.3	180	15
2	IPE300	Square	12566.41	240	124.3	180	15
3	IPE300	Pentagon	12565.35	240	124.3	180	15

Using (FEM) for solving the problem with the aid of ANSYS [31], a spatial element SOLID187 (Fig.2.) is used. This element is defined by 10 nodes with each node having three degrees of freedom. SOLID187 has a quadratic shifting behavior and is suitable for modeling the finite element irregular mesh. The degrees of freedom in the elements consist of translations in the x-axis, y-axis, and z-axis. The element has plasticity, hyper elasticity, creep, stress stiffening, large deflection, and large strain capabilities. It also possesses mixed formulation capability for the simulation of deformations exhibited

by materials with properties ranging from nearly incompressible elasto-plasticity to fully incompressible hyper-elasticity. This element has proven efficacious in the application of several structural mechanical quandaries [32-33]. For a comprehensive exposition concerning the theoretical underpinnings, assumptions, constraints, and formulation of this element, refer to reference [34]. In this research, the finite element mesh of the system is done with the default mesh setting of the software. The mesh properties of the elements and nodes for three types of modules are given in Table 3. Castellated steel beam with circular web openings meshed by software’s default mesh setting is shown in Fig. 3.

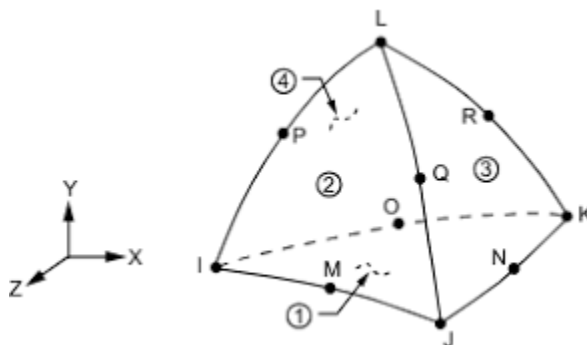


Figure 2. Geometry of SOLID187

Table 3. FEM meshing properties

Model	Web opening shape	Number of elements	Number of nodes
1	Circular	3554	8000
2	Square	3323	7515
3	Pentagonal	3626	8251

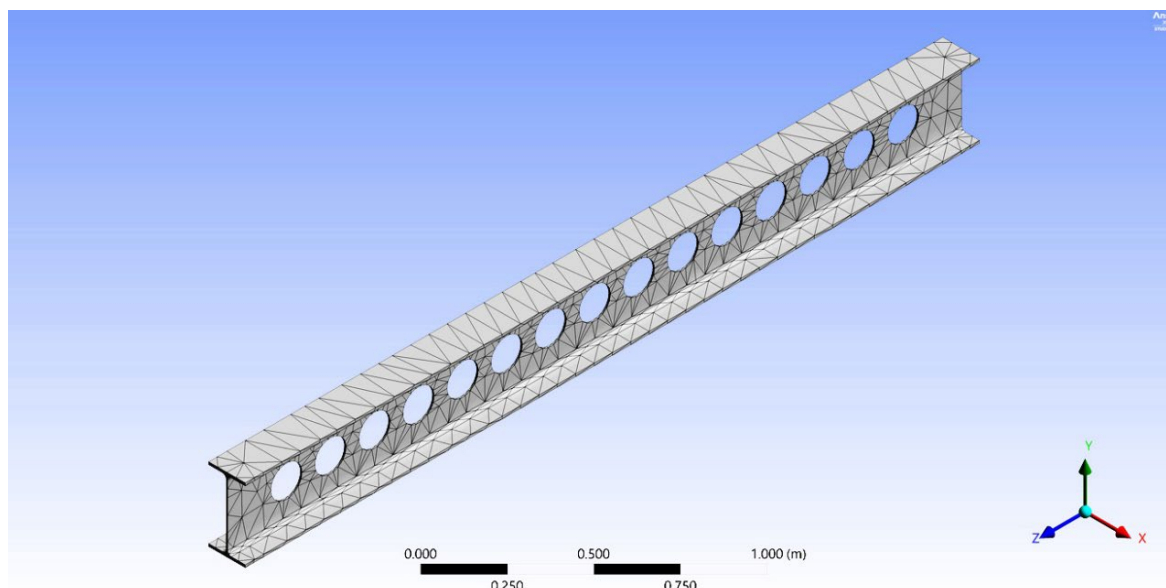
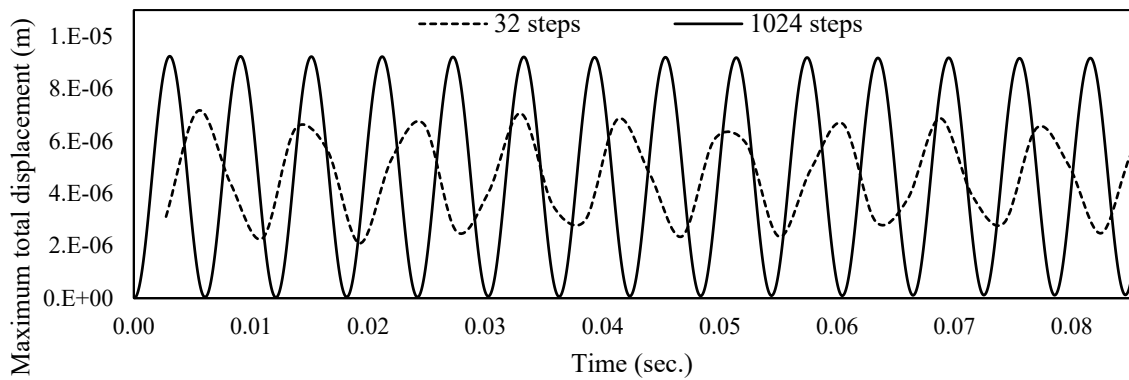


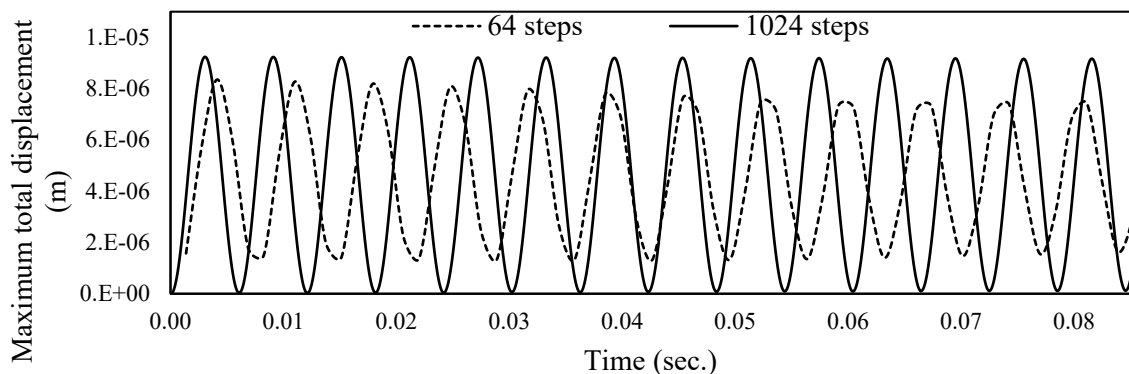
Figure 3. Meshed castellated steel beam with circular web openings

### 3. Numerical results and discussion

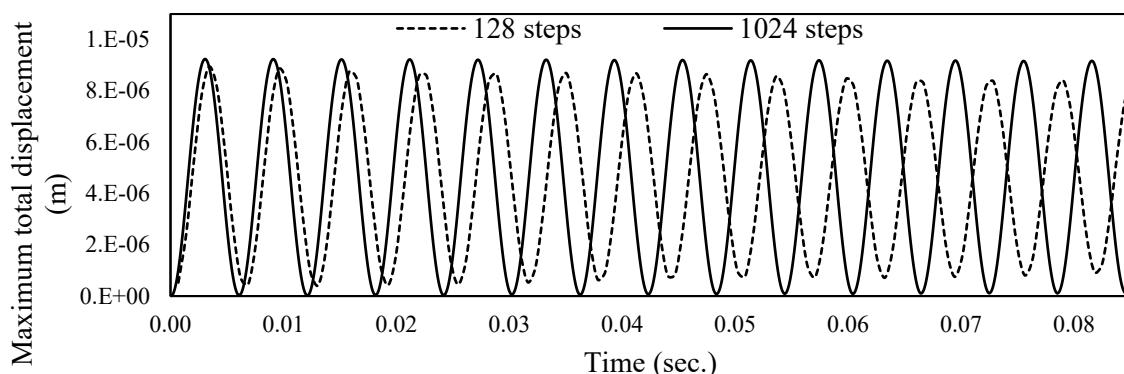
In this study, the forced vibration analysis of castellated steel beam subjected to step-load is carried out. The effect of the web opening shape and time steps on the forced vibration response of the castellated beam is investigated in details. The pressure is applied on the top of the beam, and its magnitude is deemed to be (1000 Pa). It is worth mentioning that there is no specific reason for choosing this load. It is considered only to investigate the effect of time steps and the effect of web opening shape on the dynamic response of the castellated beams. For all the cases throughout this study, the IPE300 profile with fixed-fixed boundary condition is used. In this context, only the web opening shape is changed by keeping the length of the beam, the web opening area, and the distance between the openings constant in all cases for each profile. Different models are generated and analyzed using the (FEM). To outline the effect of web opening shape on the dynamic response and discuss the effect of the time step numbers on the accuracy of the transient analysis, a parametric study is carried out for (32, 64, 128, 256, 512, and 1024) time steps. The maximum total displacement results of fixed-fixed supported castellated beams of  $n = 1024$  time steps results for circular web openings are given in Fig.(4-8).



**Figure 4.** The maximum total displacement of fixed – fixed supported castellated beam with circular web openings for  $n = 32$  and  $n = 1024$

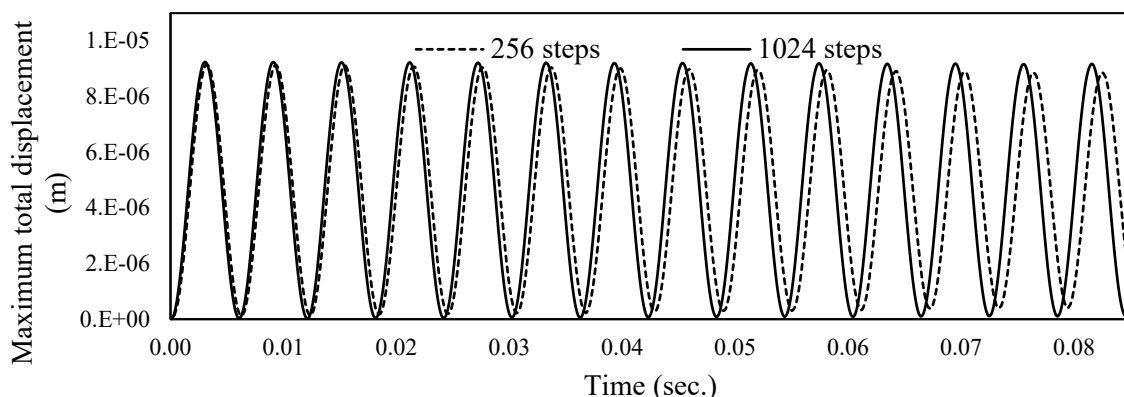


**Figure 5.** The maximum total displacement of fixed – fixed supported castellated beam with circular web openings for  $n = 64$  and  $n = 1024$

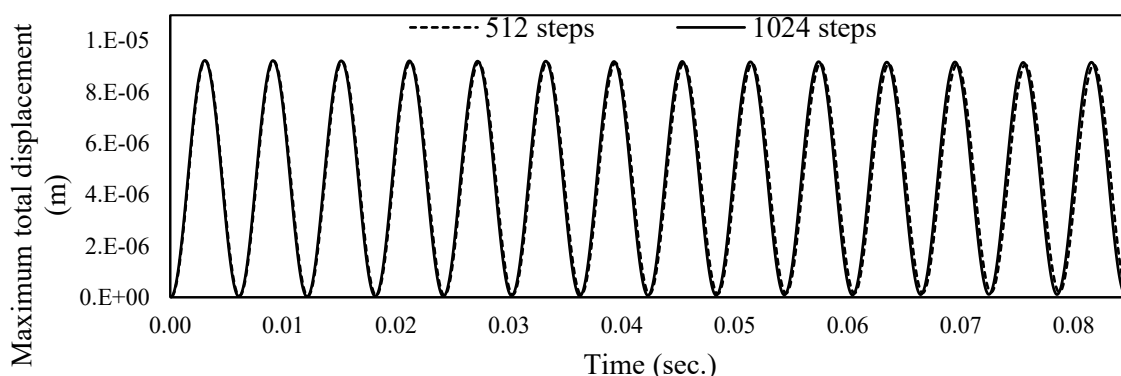


**Figure 6.** The maximum total displacement of fixed – fixed supported castellated beam with circular web openings for  $n = 128$  and  $n = 1024$

As shown in Fig. 4, there is a discernible divergence in periodic outcomes conducted with (32) and (1024) time steps. With temporal increment, the amplitude values are diverging by a significant amount. This trend is evident across Fig. 4 through Fig. 6, wherein an augmentation in the time steps yields a convergence of amplitude values.



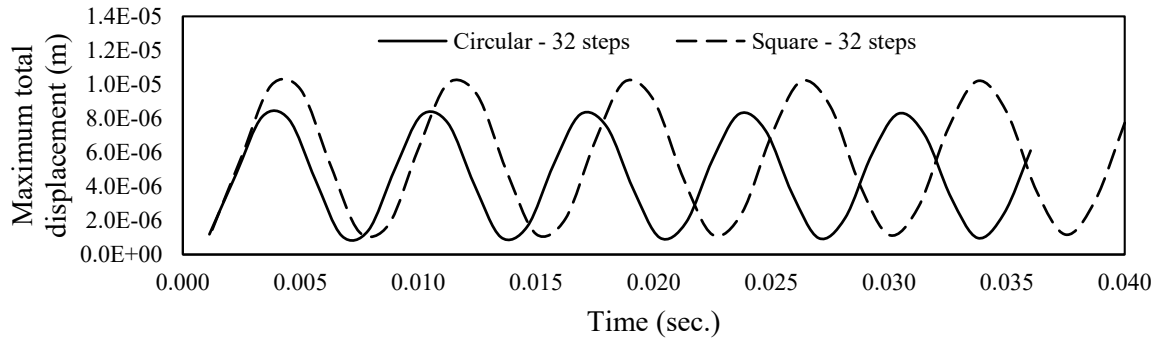
**Figure 7.** The maximum total displacement of fixed – fixed supported castellated beam with circular web openings for  $n = 256$  and  $n = 1024$



**Figure 8.** The maximum total displacement of fixed – fixed supported castellated beam with circular web openings for  $n = 512$  and  $n = 1024$

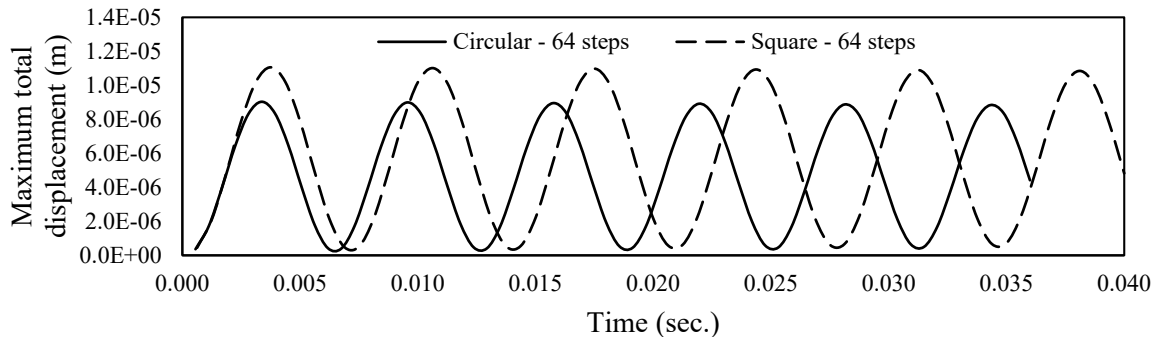


From Fig. 4, it can be seen that the frequency of the periodic results of (32) and (1024) time steps diverges from each other, and by increasing the number of time steps, results are approaching to each other. As seen in Fig. 8, the results obtained for (512 steps) overlap those of (1024 steps). The maximum total deformation results of fixed–fixed supported castellated beams with circular and square web openings for (32 – 1024) time steps are given in Fig. (9-14).

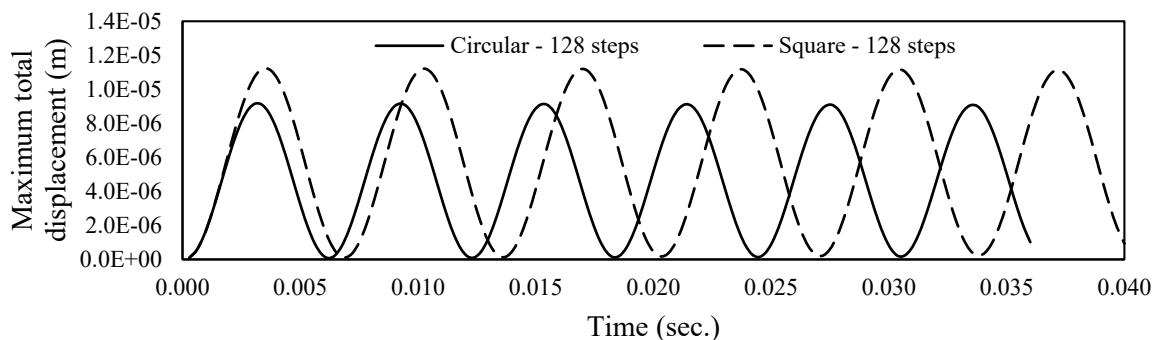


**Figure 9.** The maximum total displacement of fixed – fixed supported castellated beams with circular and square web openings for  $n=32$

At identical time steps, the total maximum displacement between square and circular web openings is compared. Fig. 9 illustrates the evident discrepancy in frequencies of their periodic results. Notably, the amplitude values associated with square web openings surpass those of circular, with this discrepancy accentuating with temporal progression. At identical time steps, the total maximum displacement between square and circular web openings is compared. Fig. 9 illustrates the evident discrepancy in frequencies of their periodic results. Notably, the amplitude values associated with square web openings surpass those of circular, with this discrepancy accentuating with temporal progression.

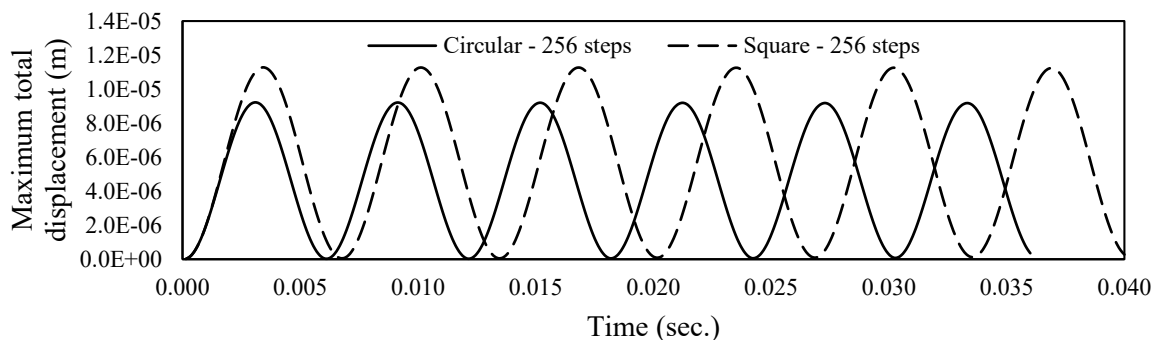


**Figure 10.** The maximum total displacement of fixed – fixed supported castellated beams with circular and square web openings for  $n=64$

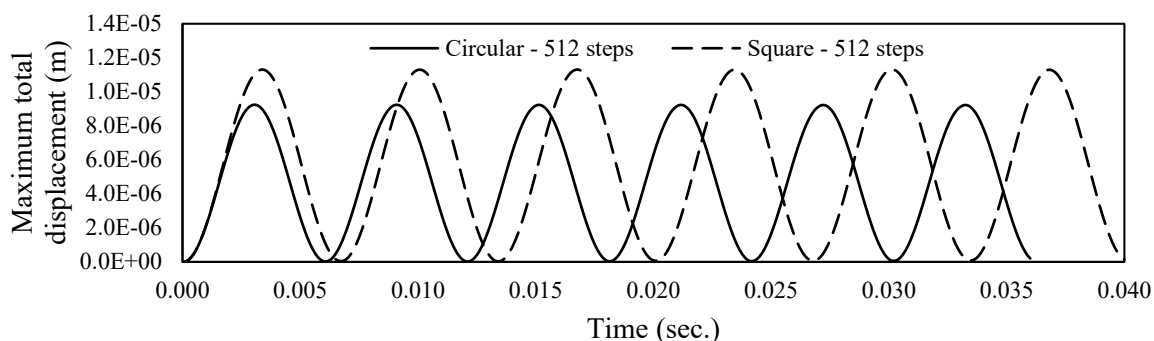


**Figure 11.** The maximum total displacement of fixed – fixed supported castellated beams with circular and square web openings for  $n=128$

Fig. 10 and Fig. 11 indicate that with escalating time steps, the maximum total displacement values remain relatively stable and maintain proximity to one another, akin to the results observed at 32 time steps. Concurrently, the disparities in periodic results between square and circular web openings remain unaltered.

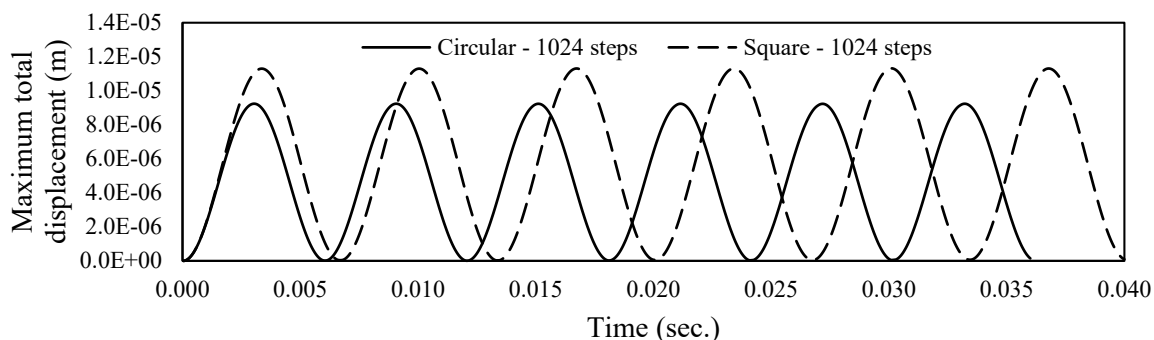


**Figure 12.** The maximum total displacement of fixed – fixed supported castellated beams with circular and square web openings for n=256



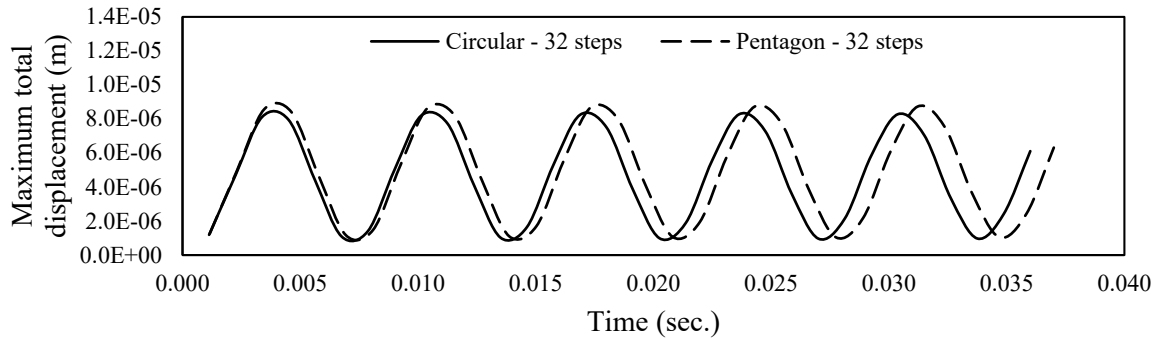
**Figure 13.** The maximum total displacement of fixed – fixed supported castellated beams with circular and square web openings for n=512

In Fig. (12-13), the maximum total displacement outcomes remained the same when the time step is increased from 256 to 512.

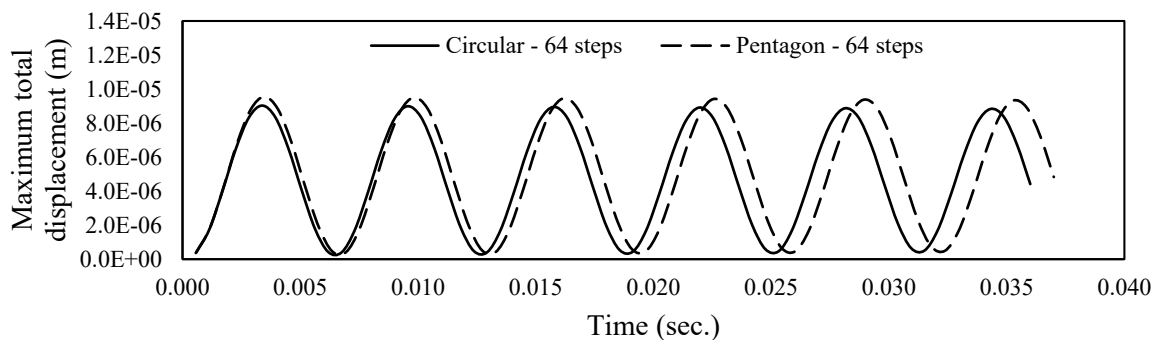


**Figure 14.** The maximum total displacement of fixed – fixed supported castellated beams with circular and square web openings for n=1024

The comparison between circular and square web openings for various periods indicates that the amplitude values of square web openings are greater than those of circular, and it is observed that by increasing the time steps, the amplitude values of the square web opening are increasing. The comparison of circular and pentagonal web openings for (32-1024 time steps) are given in Fig. (15-20).

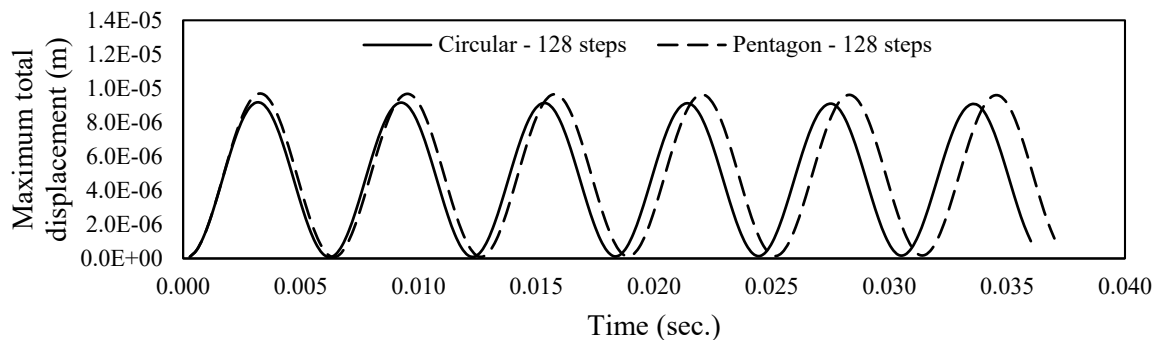


**Figure 15.** The maximum total displacement of fixed – fixed supported castellated beams with circular and pentagonal web openings for  $n=32$

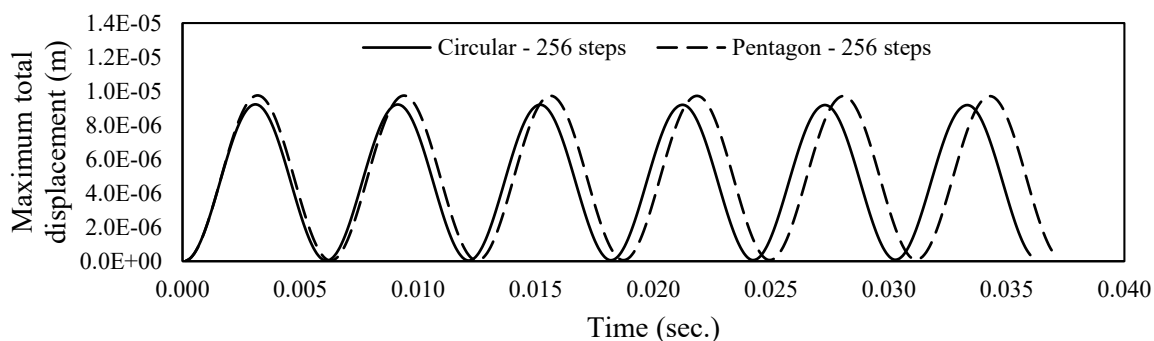


**Figure 16.** The maximum total displacement of fixed – fixed supported castellated beams with circular and pentagonal web openings for  $n=64$

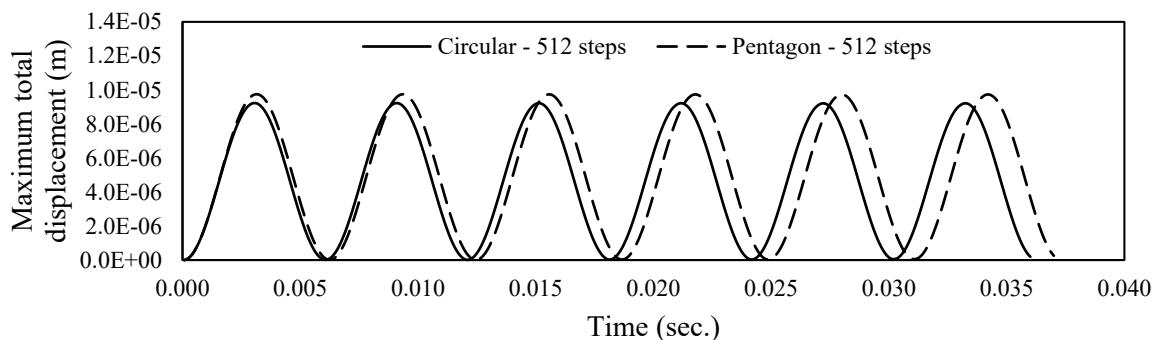
Pentagonal and circular web openings are compared in Fig. (15-16). It shows, that the amplitude value of the pentagonal web opening is larger than the circular web opening. The comparison between circular and pentagonal web openings for various periods shows that the amplitude values of pentagonal web openings are close to those of circular ones. Especially, in the first period, we can observe that the difference in amplitudes almost disappears. As time increments, there is discernible divergence observed in their amplitudes.



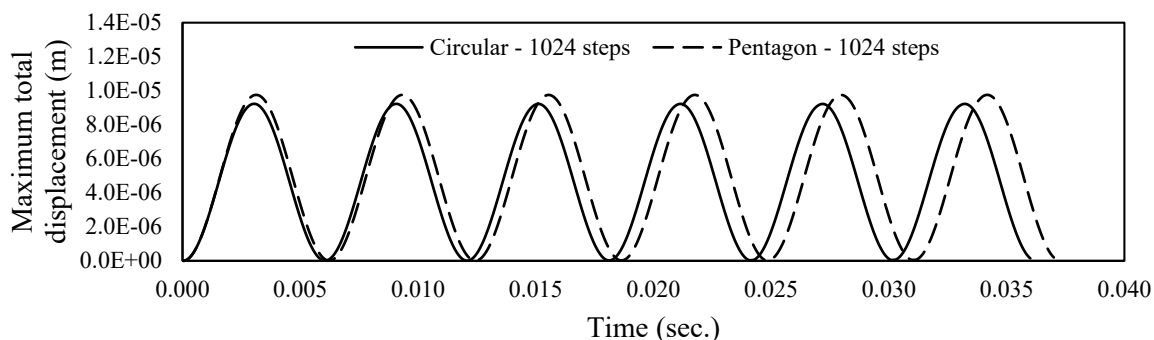
**Figure 17.** The maximum total displacement of fixed – fixed supported castellated beams with circular and pentagonal web openings for  $n=128$



**Figure 18.** The maximum total displacement of fixed – fixed supported castellated beams with circular and pentagonal web openings for n=256

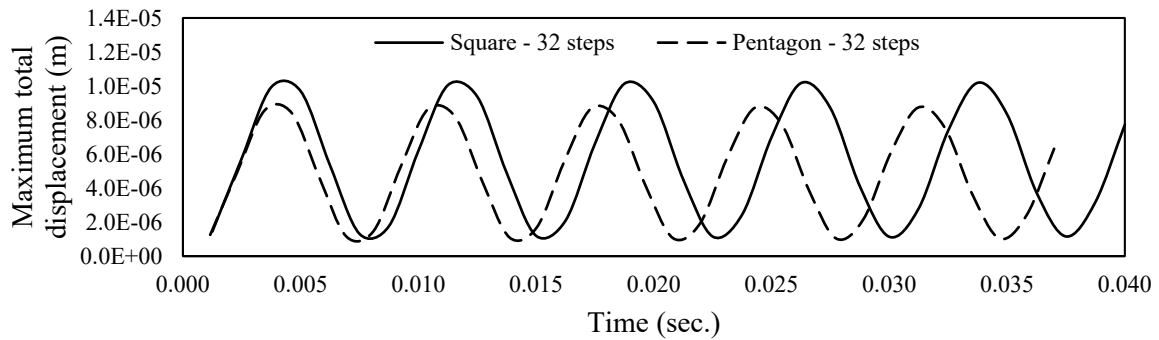


**Figure 19.** The maximum total displacement of fixed – fixed supported castellated beams with circular and pentagonal web openings for n=512

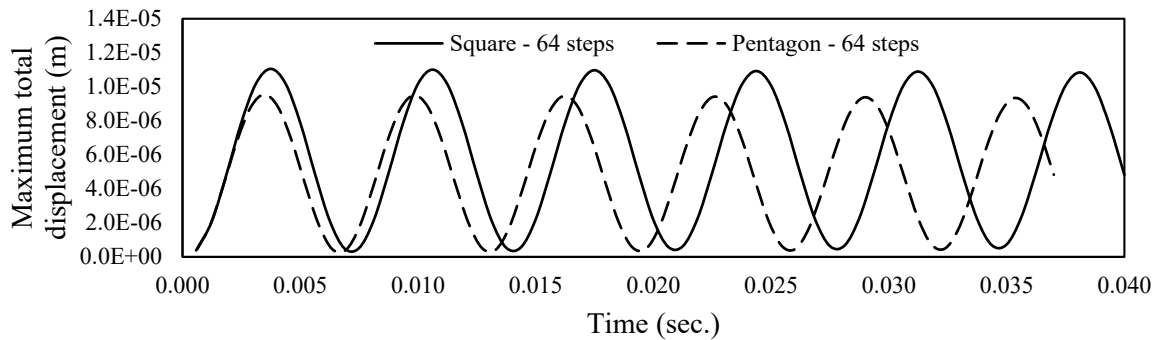


**Figure 20.** The maximum total displacement of fixed – fixed supported castellated beams with circular and pentagonal web openings for n=1024

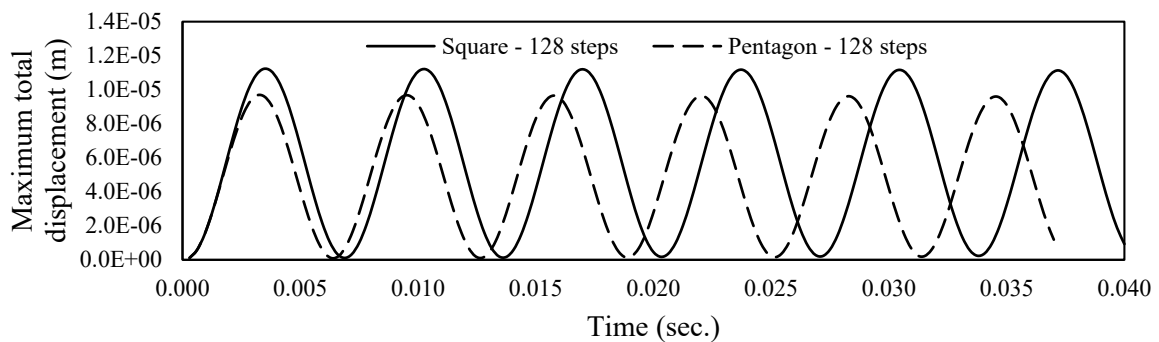
The comparison of square and pentagonal web openings for (32-1024 time steps) are given in Fig. (21-26).



**Figure 21.** The maximum total displacement of fixed – fixed supported castellated beams with square and pentagonal web openings for  $n=32$

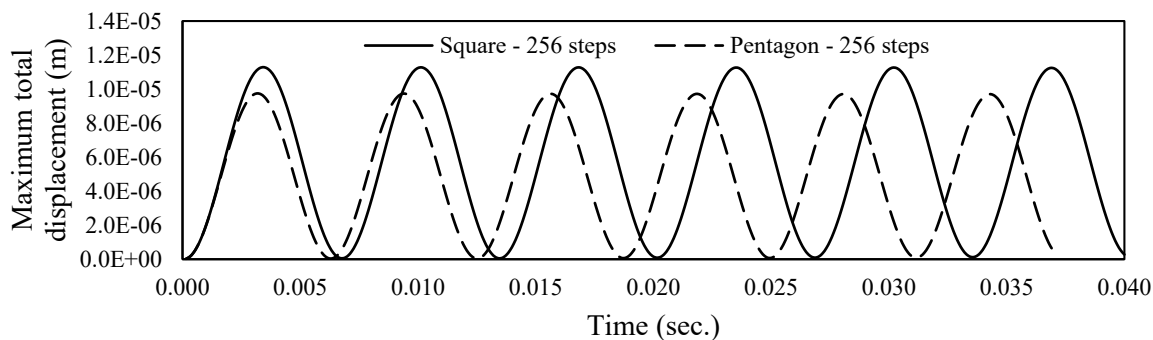


**Figure 22.** The maximum total displacement of fixed – fixed supported castellated beams with square and pentagonal web openings for  $n=64$

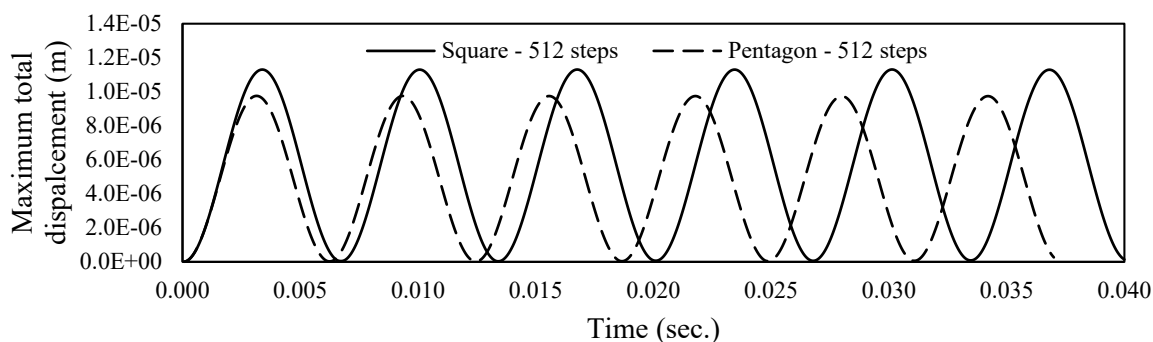


**Figure 23.** The maximum total displacement of fixed – fixed supported castellated beams with square and pentagonal web openings for  $n=128$

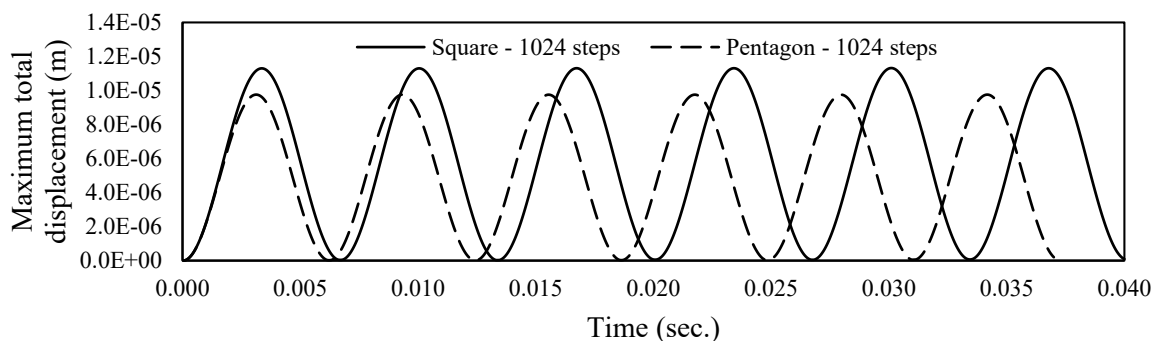
As illustrated in Fig. (21-23), the maximum total displacement results of the square and pentagonal web openings are contrasted. Amplitude values associated with square web openings happens to be larger than those of pentagonal web openings.



**Figure 24.** The maximum total displacement of fixed – fixed supported castellated beams with square and pentagonal web openings for n=256

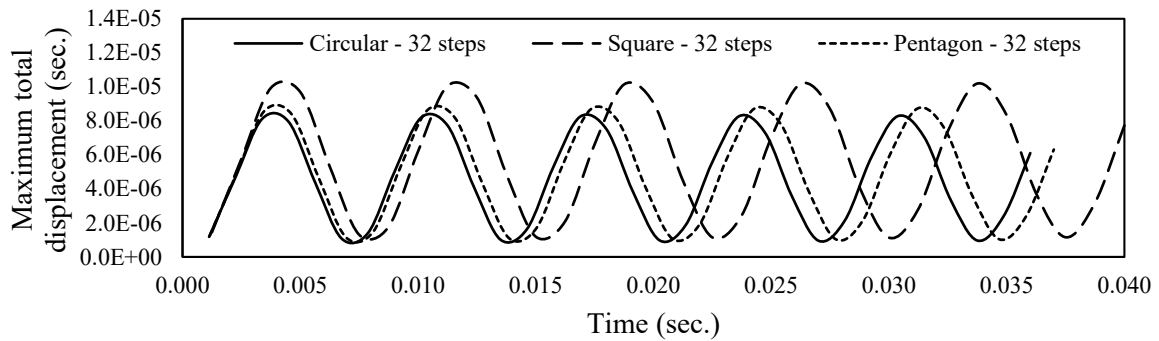


**Figure 25.** The maximum total displacement of fixed – fixed supported castellated beams with square and pentagonal web openings for n=512

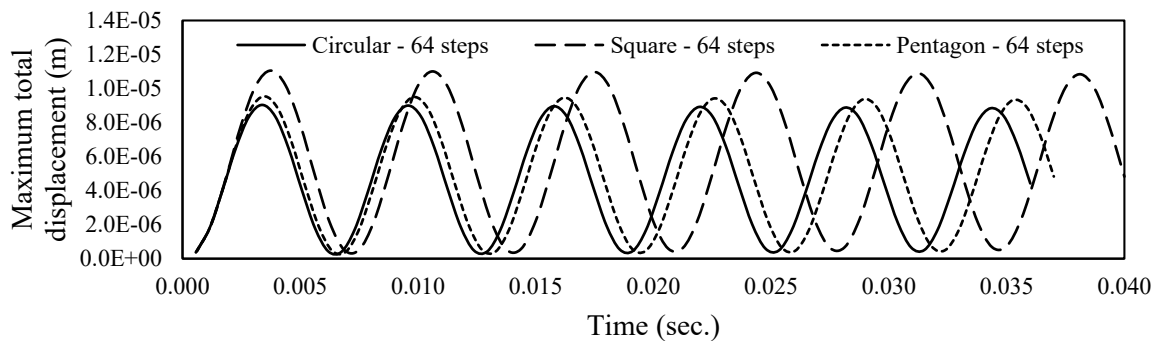


**Figure 26.** The maximum total displacement of fixed – fixed supported castellated beams with square and pentagonal web openings for n=1024

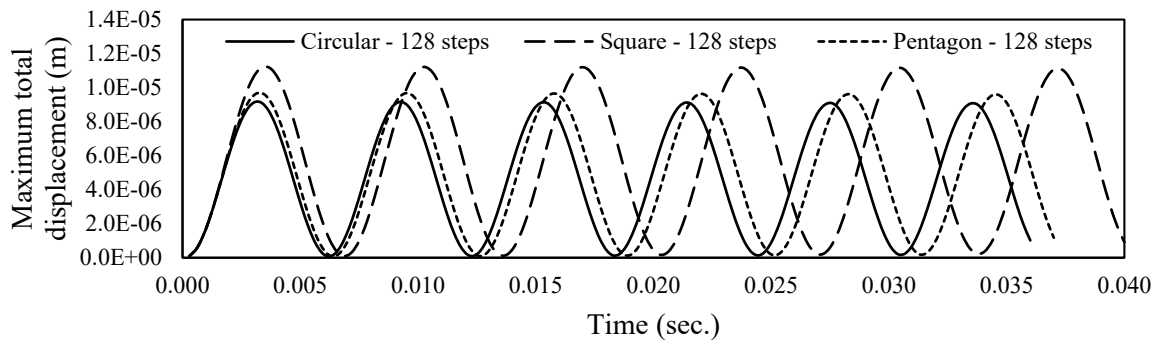
The comparison between square and pentagonal web openings for various periods indicates that the amplitude values of square web openings are greater than those of pentagonal web openings for all time steps. The comparison of circular, square, and pentagonal web openings for (32-1024 time steps) are shown in Fig.(27-32).



**Figure 27.** The maximum total displacement of fixed – fixed supported castellated beams with circular, square and pentagonal web openings for  $n=32$



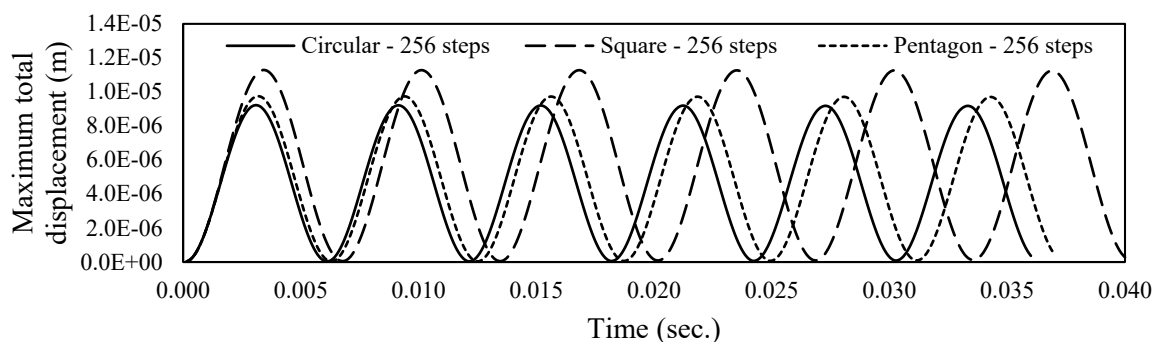
**Figure 28.** The maximum total displacement of fixed – fixed supported castellated beams with circular, square and pentagonal web openings for  $n=64$



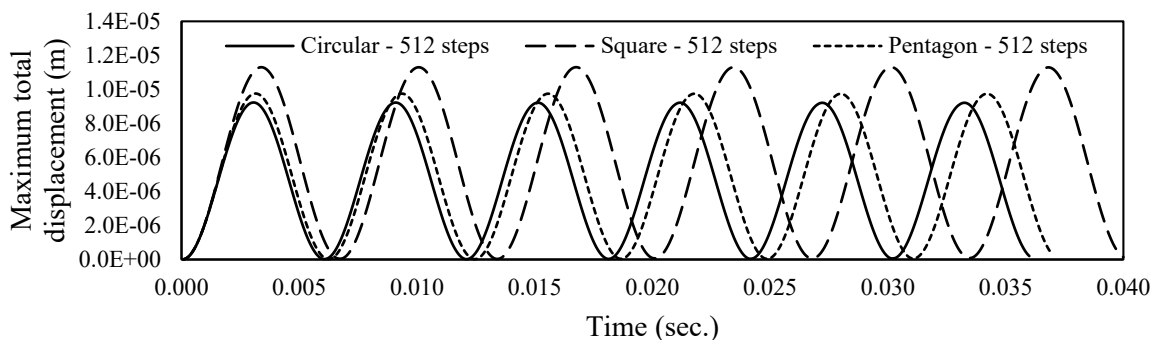
**Figure 29.** The maximum total displacement of fixed – fixed supported castellated beams with circular, square and pentagonal web openings for  $n=128$

In Fig. (27-30), a comparison of the maximum total displacement values of all three web openings (circular, square, and pentagonal web openings) is conducted. Notably, an increase in temporal increments corresponds to an enlargement of the disparity among the results, concomitant with an increase in the amplitude values. Moreover, it is discerned that square web opening exhibit greater amplitude values compared to pentagonal and circular web openings.

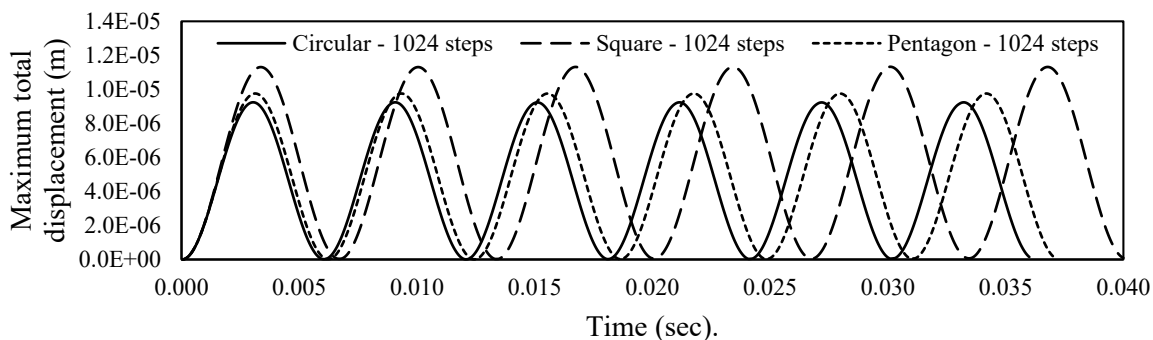




**Figure 30.** The maximum total displacement of fixed – fixed supported castellated beams with circular, square and pentagonal web openings for n=256



**Figure 31.** The maximum total displacement of fixed – fixed supported castellated beams with circular, square and pentagonal web openings for n=512



**Figure 32.** The maximum total displacement of fixed – fixed supported castellated beams with circular, square and pentagonal web openings for n=1024

The comparison between circular, square, and pentagonal web openings for various periods clearly indicates that the amplitude values of square and pentagonal web openings are greater than those of circular web openings. In general, it has shown similar performance for different time steps.

#### 4. Conclusions

This study examined the impact of web opening shape on the dynamic behavior of castellated beam using theoretical analysis. (FEM) implemented through ANSYS Workbench software is employed to create forced vibration models of the studied castellated steel beams. To investigate the effects of various web opening geometries, three different shape configurations are utilized: circular, square, and pentagonal. Boundary conditions of fixed-fixed type are applied to analyze the dynamic behavior of castellated beams manufactured from the IPE300 profile. The results revealed the following outcomes:

- The findings demonstrate that the maximum total displacement within the castellated steel beam occurs when square web openings are present, whereas the least amount of the maximum total displacement is observed when circular web openings are incorporated into the IPE300 profile.
- It is found that the results for castellated steel beams with circular, square, and pentagonal web openings converge at around 512 and 1024 time steps.
- Highly accurate results can be obtained when we use (512 time steps ) for six periods and (1024 time steps) for more than ten periods.
- Utilization of an optimal time increment in analysis results in reduced efforts and computational time for castellated beams.
- Accurate results can be obtained when the number of time steps for each period is considered to be 85.
- Evidently, the most favorable results in different time periods are obtained in case of circular web opening configuration.

#### References

- [1] Rajalakshmi E. Modeling and manual design comparison of stresses in castellated beam using ansys. International Conference on Current Trends in Engineering and Technology (ICCTET) 2013; 220–224. IEEE.
- [2] Ismail RES, Fahmy AS, Tawfik NM. Ultimate behavior of composite castellated beams under vertical loads. International Journal of Computer Applications 2014; 108:40–46
- [3] Ahyar MR, Setiyawan P, Adinata CT, & Sukadana E. Flexural behaviour of different stiffener section area on full height rectangular opening castellated steel beam. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 2022; 955.
- [4] Al-Thabhawee HW, Mohammed A. Experimental study for strengthening octagonal castellated steel beams using circular and octagonal ring stiffeners. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2019; 584.
- [5] Jackson RL. Vibration and flexural strength characteristics of composite castellated beams (Doctoral dissertation, Virginia Tech).
- [6] Abdulridha SQ, Muteb HH, Abdulqader SS. Ultimate strength capacity of composite self-compacting castellated steel beams. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2018; 433.
- [7] Mathur S, Senthilpandian M, Karthikeyan K. Static and dynamic analysis of steel beams with web openings. Journal of Physics: Conference Series 2020; 1716.
- [8] Eroglu U, Tufekci E. A new finite element formulation for free vibrations of planar curved beams. Mechanics Based Design of Structures and Machines 2018; 46: 730–750.
- [9] Lei JS, Yuan WB, Li LY. Axial compression buckling of castellated columns at elevated temperatures. International Journal of Structural Stability and Dynamics 2017; 17(3);
- [10] Lei JS, Kim B, Li LY. Dynamic instability analysis of axially compressed castellated columns. International Journal of Steel Structures 2020; 20: 559–566.

- [11] Luo C, Wang F, Chen H, Chen L, Fu C, Chen Y, Liao Q. Castellated steel beams under impact load. *Journal of Constructional Steel Research* 2022; 196.
- [12] Qiao H, Guo Z, Chen Y. Experimental investigation of a substructure in a frame with castellated steel beams in case of a column loss. *Engineering Structures* 2022; 255.
- [13] Jaini ZM, Han Kit SK, Feng YT. Numerical assessment on fatigue failure of castellated steel beams under sinusoidal vibration. *International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology* 2020; 11: 273–283.
- [14] Ertürkmen D, Noori AR. Farklı geometrik boşluklu eğri eksenli petek kirişlerin sonlu elemanlar yöntemi ile serbest titreşim analizi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* 2023; 13(4): 1019-1032.
- [15] Jia L, Li Q, Ji W, Chen C, Du J, Geng K. Influence of the local buckling of web on the bearing capacity of a castellated beam/composite beam under pure bending. *Structures* 2024; 63: 106358).
- [16] Subramanian R, Jagadeesan K. Experimental analysis and study on shear performances of castellated beam chassis under three cases of stiffener. *Journal of Engineering Research* 2021; 11: 292–323
- [17] Wakchaure MR, Sagade AV. Finite element analysis of castellated steel beam. *International Journal Of Engineering And Innovative Technology* 2012; 2: 365–370.
- [18] Deepha R, Jayalekshmi S, Jagadeesan K. Nonlinear analysis of castellated ISMB150 – I beam with hexagonal openings – a finite element approach. *Materials Today: Proceedings* 2020; 27: A8–A16.
- [19] Shendge DK, Shinde B. Castellated beam optimization by using finite element analysis: a review. *International Journal Of Engineering And Science (IJES)* 2015; 4: 12–14
- [20] Jamadar AM, Kumbhar PD. Finite element analysis of castellated beam: a review. *International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering (IJIRAE)* 2014; 1: 125–129
- [21] Elaiwi S, Kim B, Li LY. Bending analysis of castellated beams. *Athens Journal of Technology & Engineering* 2019; 6: 1–16.
- [22] Doori SG, Noori AR. Finite element approach for the bending analysis of castellated steel beams with various web openings. *ALKU Journal of Science* 2021; 2: 38–49.
- [23] Morkhade SG, Shaikh S, Kumbhar A, Shaikh A, Tiwari R. (2018). Comparative study of ultimate load for castellated and plain webbed beam. *International Journal of Civil Engineering and Technology* 2018; 9: 1466–1476.
- [24] Li C, Gao Y, Yang K, Wang X. Low cycle response analysis of welded aluminum alloy box castellated beam. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 2021; 719.
- [25] Ertürkmen D, Noori AR. Sonlu elemanlar yöntemi ile eğri eksenli petek kirişlerin eğilme analizi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi* 2023; 38: 73–84.
- [26] Mezher NAM, Noori AR, Ertürkmen D. Influence of the web opening shapes on the bending and free vibration responses of castellated steel beams. *International Journal of Engineering Technologies IJET* 2023; 8: 83–100.
- [27] Aribas UN, Atalay M, Omurtag MH. Warping included mixed finite elements for bending and stresses of functionally graded exact curved beams. *Mechanics of Advanced Materials and Structures* 2023; 1–17.
- [28] Aslan TA, Temel B. Finite element analysis of the seepage problem in the dam body and foundation based on the Galerkin's approach. *European Mechanical Science* 2022; 6: 143–151.
- [29] Noori AR, Aslan TA, Temel B. Dairesel plakların sonlu elemanlar yöntemi ile laplace uzayında dinamik analizi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 2019; 8: 193–205.
- [30] Barrenechea GR, John V, Knobloch P. Finite element methods respecting the discrete maximum principle for convection-diffusion equations. *SIAM Review* 2024; 66: 3–88.
- [31] ANSYS, Inc Release Ansys 2023 R1, Canonsburg, PA, 2022. Morshed, S., & Prorok, B. C. (2007).
- [32] Lengvarský P, Bocko J, Hagara M. Modal analysis of titan cantilever beam using ANSYS and SolidWorks. *American Journal of Mechanical Engineering* 2013; 1: 271–275.
- [33] Morshed S, Prorok BC. Tailoring beam mechanics towards enhancing detection of hazardous biological species. *Experimental Mechanics* 2007; 47: 405–415.
- [34] Mechanical APDL Element Reference, 2013, Inc., 275 Technology Drive, Canonsburg, PA 15317.

## LSTM-ESA HİBRİT MODELİ İLE MR GÖRÜNTÜLERİNDEN BEYİN TUMÖRÜNÜN SINIFLANDIRILMASI

Emrah ASLAN<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Dicle Üniversitesi, Silvan Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Programcılığı Bölümü, Diyarbakır, 21640, Türkiye

Geliş Tarihi/Received Date: 15.11.2023 Kabul Tarihi/Accepted Date: 19.03.2024 DOI: 10.54365/adyumbd.1391157

### ÖZET

Beyin tümörlerinin erken teşhisi, etkili bir tedavi için hayati öneme sahiptir. Manyetik rezonans (MR) görüntüleme, beyin tümörlerini tespit etmede temel bir araç olarak öne çıkmaktadır. Glioma, meningioma, pituitary gibi birçok tümör türü bulunmaktadır. Tümör türünü doğru bir şekilde belirlemek ve bu tespiti yapmak, beyin tümörlerini sınıflandırmanın en zorlu yönlerinden biridir. Geleneksel yöntemlerle hastalık tespiti yerine, yapay zekâ temelli bilgisayar uygulamalarının kullanılması, beyin tümörlerinin tespitinde uzmanlara önemli katkılar sağlayabilir. Özellikle derin öğrenme yöntemleri, medikal görüntülerin işlenmesine dayalı hastalık tespitinde etkili olmaktadır. Literatürde, beyin tümörlerini kategorize etmek için birçok derin öğrenme tabanlı yaklaşım bulunmaktadır. Bu çalışmada, MR görüntüleri ile beyin tümörlerini tespit etmek için bir ESA (Evrişimli Sinir Ağı) ve bir LSTM (Uzun Kısa Süreli Bellek) derin öğrenme katmanının birleştirilmiş olduğu bir model sunulmaktadır. LSTM'nin, ESA'nın özellik çıkarma yeteneklerini destekleyebileceği öne sürülmektedir. Yapılan deneylerde, önerilen LSTM-ESA modelinin standart ESA modelinden daha iyi performans gösterdiği belirlenmiştir. Bu modelin kullanılmasıyla, beyin tümörlerinin tespitinde %98,1 doğruluk skoru elde edilmiştir. Bu sonuç, literatürdeki benzer çalışmalarla karşılaştırıldığında daha yüksek bir başarı elde ettiğini göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** LSTM, Tümör, MR, ESA

## CLASSIFICATION OF BRAIN TUMOR FROM MR IMAGES WITH LSTM-CNN HYBRID MODEL

### ABSTRACT

Early detection of brain tumours is vital for effective treatment. Magnetic resonance imaging (MRI) is a fundamental tool for detecting brain tumours. There are many types of tumours such as glioma, meningioma, pituitary. Accurately determining the tumour type and making this determination is one of the most challenging aspects of classifying brain tumours. The use of artificial intelligence-based computer applications instead of traditional methods of disease detection can make significant contributions to experts in the detection of brain tumours. Especially deep learning methods are effective in disease detection based on the processing of medical images. In the literature, there are many deep learning-based approaches for categorising brain tumours. In this study, a model combining a CNN (Convolutional Neural Network) and a LSTM (Long Short Term Memory) deep learning layer is presented to detect brain tumours with MRI images. It is suggested that LSTM can support the feature extraction capabilities of CNN. In the experiments, it is found that the proposed LSTM-CNN model outperforms the standard CNN model. Using this model, an accuracy score of 98.1% was obtained in the detection of brain tumours. This result shows that it achieves a higher success compared to similar studies in the literature.

**Keywords:** CNN, LSTM, Tumour, MRI

\* e-posta<sup>1</sup> : [emrah.aslan@dicle.edu.tr](mailto:emrah.aslan@dicle.edu.tr) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0181-3658> (Sorumlu Yazar)

## 1. Giriş

Beyin tümörlerinin teşhisi, genellikle MRG ve Bilgisayarlı Tomografi (BT) gibi görüntüleme teknikleriyle gerçekleştirilmektedir. Ancak, bu tekniklerle beyin tümörlerini diğer nörolojik hastalıklardan ayırmak, değerlendiren uzmanın tecrübesine ve subjektif değerlendirmesine bağlı olarak zorlu bir süreçtir. Beyin tümörlerinin oluşumu, diğer hastalıklardan farklı metabolitlerin ortaya çıkmasına neden olabilir ve bu metabolitlerin ölçümü, teşhis ve ayırıcı tanı süreçlerinde önemli bir rol oynayabilir. Glioma, meningioma ve pituitary tümörü gibi önemli tümör türleri, beyin tümörlerinin heterojen yapısını temsil etmektedir. Gliomlar, çeşitli beyin sinir sistemi bölgelerinde ortaya çıkabilen tümörlerdir ve farklı semptomlara neden olabilir [1]. Meningioma tümörü, beyinde meninkslerden kaynaklanan ve sıklıkla görülen bir tümör türüdür. Beyin tümörlerinin erken teşhisi, tedavi stratejilerinin belirlenmesi açısından hayati önem taşır. Bu nedenle, tümör teşhisine yönelik stratejiler, özellikle görüntü işleme ve yapay zeka alanlarında yapılan araştırmalarda büyük bir öneme sahiptir. Bu çalışmalar, bilgisayar destekli teşhis yöntemlerinin, özellikle derin öğrenme ve yapay zeka algoritmalarının entegrasyonunun, beyin tümörlerinin teşhisi ve sınıflandırılmasında gelişmiş doğruluk ve etkinlik sağlayabileceğini göstermektedir [2].

Tümörlerin erken aşamalarda otomatik olarak tespiti, günümüz sağlık teknolojisinin önemli bir hedefidir. Bu süreç, tümörlerin sağlıklı dokulardan ayrıştırılması ve tanımlanması, tıbbi tedavi sürecinde özel bir yer tutar [3]. Erken aşamada tümörün izole edilip boyutu ve yayılma derecesinin değerlendirilmesi, tedavi sürecini daha etkili hale getirebilir. Ancak, beyin tümörlerinin boyut ve çözünürlüğünü erken aşamada kesin olarak belirlemek karmaşık bir süreçtir. Çünkü bu tür tespitler genellikle tam olarak yapılamaz [4]. Eğer, bir tümör erken aşamada tespit edilir ve tedavi uygulanırsa, hastanın iyileşme olasılığı yüksektir. Çünkü tümör tedavisi genellikle erken teşhisle ilişkilidir. Tıbbi inceleme için genellikle BT veya MRG gibi yöntemler kullanılır. MRG, hassas beyin görüntüleri üretir ve beyin hasarını tespit etmek ve değerlendirmek için en yaygın kullanılan yöntemlerden biridir. MRG, insan yumuşak dokularını en kesin şekilde tahmin etme yeteneğine sahiptir [5]. Son yıllarda, bu alanda makine öğrenimi teknikleri ve özel modeller kullanılarak önemli ilerlemeler kaydedilmiştir.

Makine Öğrenimi (ML), Yapay Zekâ (YZ) alanında önemli bir rol oynamaktadır. Makine öğrenimi tabanlı sistemler artık özel programlamaya gerek duymadan işlev gösterebilmektedir. Son zamanlarda, araştırmacılar bu alanda derin öğrenme adı verilen önemli bir teknolojik gelişmeyi sunmuşlardır. Görüntü sınıflandırma ve tanımlama uygulamalarının geniş bir yelpazesi, bu görevleri yüksek doğrulukla gerçekleştirebilen gelişmiş öğrenme yöntemlerini ve tasarımlarını gerektirir [6]. Görüntü segmentasyonu genellikle tam ve kısmi olarak sınıflandırılabilir. Tam ve doğru segmentasyon, giriş görüntü elemanlarını belirgin şekilde ayırarak bölgeleri net bir şekilde tanımlar. Ancak kısmi segmentasyon sırasında elde edilen bölgeler artık giriş görüntüsüyle tam olarak örtüşmez. Bu nedenle, görüntü segmentasyonu, tipik olarak bir piksel sınıflandırması gerektiği için yaygın bir zorluk olarak kabul edilir.

Bu çalışmada, beyin tümörlerini tanımak ve sınıflandırmak için ESA ve LSTM katmanlarını içeren yeni bir derin öğrenme yaklaşımı önerilmektedir. Önerilen derin öğrenme tabanlı ESA tasarımının performansını değerlendirmek amacıyla, toplam 3264 görüntü içeren bir Kaggle veri seti kullanılmıştır. Bu veri seti 394 test görüntüsü ve 2870 eğitim görüntüsü içermektedir. Ayrıca, önerilen modelin diğer mevcut modellerle karşılaştırması yapılarak etkinliği doğrulanmıştır.

Bu çalışma, beyin tümörlerinin tanınması alanında önemli bir ilerleme sunmaktadır. MRG verileri üzerine odaklanarak, bilgisayar destekli bir çözüm geliştirilmiş ve geleneksel görüntüleme tekniklerine alternatif bir yaklaşım önerilmiştir. Önerilen model, önceki öğrenmeleri hatırlama yeteneği ve özellik çıkarma süreçlerinde etkinliğiyle birleşerek beyin tümörlerinin yüksek doğrulukla tanınabilmesini sağlamaktadır. Elde edilen sonuçlar, önerilen modelin kullanıldığı durumda beyin tümörlerinin etkili bir

şekilde sınıflandırılabilceğini göstermektedir. Bu çalışma, tıbbi görüntüleme ve derin öğrenme alanındaki araştırmalara katkıda bulunarak, hastalıkların teşhisi ve sınıflandırılmasında yeni perspektifler sunmaktadır.

Makalenin geri kalanı şu bölümlere ayrılmıştır: İkinci bölümde, MRG kullanılarak beyin tümörlerini tanıma ve sınıflandırmaya yönelik literatür taraması sunulmakta ve beyin tümörü tespitinin kritik önemi vurgulanmaktadır. Bölüm 3'te beyin tümörü tanımlama ve sınıflandırma yöntemleri ayrıntılı olarak açıklamaktadır. Bölüm 4'te deneysel veriler ve yorumları sunulmuştur. Son olarak, Bölüm 5'te çalışmanın sonuçları verilmiştir.

## 2. İlgili Çalışmalar

Beyin tümörlerinin MRG ile tespit edilmesine yönelik birçok araştırma yapılmıştır. Günümüzde, tıbbi görüntüleme büyük ölçüde derin öğrenme tekniklerine dayanmaktadır. İnsan beyninin karmaşık yapısını sadece basit görüntüleme teknikleriyle tespit etmek oldukça önemlidir. B. Srikanth ve ekibi, beyin tümörlerinin merkezi sinir sistemi olan beyaz hücre kümelerinden oluştuğunu öne sürmüştür [7]. Beyin tümörleri, hücrelerin hızlı çoğalması sonucu ortaya çıkan ve erken teşhis edilmezse ölümcül olabilen anormal hücre büyümesinin bir türüdür. Meningioma, glioma, pituitary ve iyi huylu beyin tümörleri, en yaygın görülen türler arasında yer almaktadır. Beyin tümörlerini manuel olarak tanımlamak ve kategorize etmek, doktorlar ve klinik uzmanlar için zorlu bir görevdir ve doğrulukları genellikle deneyime dayanmaktadır. Bu sınırlamaları aşmak için bilgisayar destekli teknolojilere olan ihtiyaç giderek artmaktadır. YZ, modern tıbbi standartlar geliştikçe beyin dokularını tanıma ve kategorize etme konusunda giderek daha fazla fayda sağlamaktadır. Bu konu araştırmacılar arasında büyük bir ilgi konusu olmuş ve çeşitli makine öğrenimi ve derin öğrenme mimarileri kullanılarak çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Geçmişte, tümörleri tanımlamak ve MRG kullanarak sınıflandırmak için Destek Vektör Makinaları (DVM), K-En Yakın Komşuluk (K-EYK) ve ESA gibi farklı makine öğrenimi teknikleri kullanılmıştır. Ancak bu algoritmalar her zaman en iyi sonuçları vermemiştir. Bu nedenle, beyin tümörlerini MRG çoklu sınıflandırmak için derin sinir ağı tabanlı bir VGG-16 ağı önerilmiştir. Raheleh Hashemzahi ve diğerleri, MRG beyin kanserini sınıflandırmak için özellikleri çıkarmak ve veri dağılımını otomatik olarak hesaplamak için Evrişimli Sinir Ağı (ESA) ve sinirsel oto-regresif dağılım tahmininden oluşan bir hibrit yaklaşım önermişlerdir. Önerdikleri yaklaşımın %95 sınıflandırma doğruluğuna sahip olduğunu göstermişlerdir [8].

Halimeh ve diğerleri, beyin tümörleri ve multipl skleroz gibi beyin bozukluklarının tespit edilmesi için temel bir yaklaşım olan MRG kullanımını önermiştir. Beyin tümörü hastalığı, anormal beyin hücrelerinin büyümesi sonucu ortaya çıkar. Multipl skleroz (MS), kronik bir durum olup beyin ve nörolojik sisteme zarar verir. Hem MS hem de tümörler, en iyi MRG kullanılarak tespit edilir ve teşhis edilir. Benzerlikleri nedeniyle, yanlış teşhisler hastanın zarar görmesine ve hatta ölümüne neden olabilir. Yazarlar, beyin tümörü ve MS aynı anda teşhis etmek için bir ESA kullanmışlardır. Sonuç olarak, bu yöntemle tümör ve MS teşhisinde %96 doğruluk elde etmişlerdir [9].

Ameer ve arkadaşlarının önerdiği çalışma, beyin tümörlerinin sınıflandırılması ve bilgisayar destekli teşhis konusunda önemli bir katkı sunmaktadır. Bu makalede, gliomlar, meningiomlar, iyi huylu ve pituitary tümörleri için üç sınıflı bir sınıflandırma sistemi ele alınmıştır. Önerilen yöntem, beyin MRG'den özellikler çıkarmak için önceden eğitilmiş bir GoogleNet kullanmış ve ardından bu özellikleri sınıflandırmak için derin transfer öğrenme yöntemi uygulanmıştır. Sınıflandırma işlemi için sertifikalı sınıflandırıcılar kullanılmıştır [10].

Mohsen ve diğerleri, derin öğrenmenin son yıllarda hızla popülerlik kazanan, nispeten genç bir makine öğrenimi alanı olduğunu vurgulamışlardır. Derin öğrenme, çeşitli uygulamalarda başarıyla

kullanılan ve karmaşık sorunların üstesinden gelmede önemli bir makine öğrenimi tekniği olarak kabul edilmektedir. Araştırmacılar, 66 adet beyin MRG taramasını dört farklı kategoride sınıflandırmak için derin sinir ağı sınıflandırıcısını kullanmışlardır. Bu sınıflandırıcı, özellikleri çıkarmak için ayrık dalgacık dönüşümü ve temel bileşen analizi gibi güçlü teknikleri bir araya getirerek, yaygın kullanılan tüm performans ölçümleri için son derece başarılı sonuçlar üretmiştir [11].

Sobhaninia ve diğerleri tarafından belirtilmiştir ki derin öğrenme, bilgisayarlı görüş alanında önemli bir rol oynamaktadır. Bu, hastalık teşhis süreçlerinde insan çabasını azaltma potansiyeli taşımaktadır. Özellikle beyin tümörü analizi, küçük hataların düşünce süreçlerinde felakete yol açabileceğinden, en üst düzey hassasiyeti gerektiren bir alandır. Bu nedenle, beyin tümörü segmentasyonu, bilimsel uygulamalar için sağlam bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır. Farklı tekniklerin kullanıldığı beyin tümörü segmentasyonu için mevcut yöntemler, genellikle maksimum hassasiyeti sağlamada yetersiz kalmaktadır. Bu bağlamda, yazarlar, derin öğrenmeyi kullanarak beyin tümörlerini segmente etmek amacıyla bir yöntem geliştirmişlerdir. Yaptıkları araştırmada, özel MRG pikselleri ile çalışmışlar ve çeşitli segmentasyon ağlarını uygulamışlardır. Ayrı bir ağı kullanılmasının etkisi, tek bir sonuç ağı ile karşılaştırılarak incelenmiştir. Gerçekleştirilen deneyler, tek ağ durumunda 0.73 ve birden fazla ağ kullanıldığında 0.79 olan skorlar elde edilmiştir [12]. Sajid ve diğerleri, gliomların oldukça yaygın ve hızla ilerleyen tümörler olduğunu vurgulamışlardır. Gliomların bölünmesi, bilgisayar destekli analizle, anormal şekil ve tümörün ince sınırlamaları nedeniyle zorlu bir görevdir. Bu çalışmada, özel MRG kullanılarak beyin tümörünü segmentlere ayırmak için derin öğrenmeye dayalı saf bir yöntem sunulmaktadır. Ayrıca, ESA ile ileri beslemeyi atlayarak ve önyargı alanını ele alarak küçük yanlış pozitifleri azaltmak için özel bir işleme adımı kullanılmıştır. Önerilen teknik, BRATS 2013 veri seti üzerinde test edilmiş ve tüm tümör bölgesi için 0.86 hassasiyet ve 0.86 özgüllük elde etmiştir [13].

Hussain, S. ve Majid, gliomların en yaygın ve tehlikeli beyin tümörü türü olduğunu belirtmişlerdir. Bu tür tümörlerin doğru bir şekilde tespiti, sorunun devamı için kritik öneme sahiptir. Ancak, tümörlerin garip bir şekle sahip olmaları ve hızlı dağılımları, tıbbi amaçlar için ölçeklemeyi zorlaştırmaktadır. Bu makale, derin evrişimli sinir ağlarına dayalı bir yaklaşım önererek otomatik beyin tümörü segmentasyon sistemini ele almaktadır. Derin ağlar, önemli sayıda parametre içerdiğinden, özellikle sınırlı kaynaklarla çalışıldığında aşırı yüklenme sorunu ortaya çıkmaktadır. Bu sorunu çözmek için, maksimum ve sızdıran katmanları kullanarak aşırı yüklemeleri en aza indirmişlerdir. Ayrıca, modelde 37x37 ve 19x19 eşit ortalama piksel düzeltme türlerini belirleyerek ve tüm düzeltme tabanlı okul eğitimi tekniğini kullanarak önerilen yaklaşımı geliştirmişlerdir. Önerilen teknik, BRATS 2013 veri seti üzerinde değerlendirilmiş ve temel genel performans etiketlerinde mevcut teknolojilere göre daha iyi bir performans sergilemiştir [14].

Pereira ve arkadaşları, gliomlar olarak adlandırılan beyin tümörlerinin alışılmadık ve rekabetçi bir tür olduğunu vurgulayarak, genellikle daha uzun bir ortalama yaşam süresine neden olduğunu belirtmişlerdir. Bu durum, onkoloji hastaları için etkili bir yaşam kalitesi geliştirme açısından tedavi planlamasının büyük öneme sahip olduğunu ortaya koymaktadır. MRG kullanılarak teşhis konulan beyin tümörü hastalarının farklı evrelerinde Doğrusal Ayırma Analizi (DAA) ve DVM sınıflandırma yöntemleri kullanılarak yapılan bir çalışmada, Doğrusal Ayırma Analizi yöntemi %65 başarı elde ederken, DVM yöntemi kullanarak %94 başarı sağlamıştır [15]. Nagorive ve Joshi'nin çalışmalarında MR spektroskopisi ile elde edilen veriler kullanılarak beyin tümörünün evresinin tahmin edilmesi üzerine odaklanılmıştır [16]. Carlos, Cr ve Naa değerleri MR spektroskopisi aracılığıyla okunmuş ve farklı hastanelerden alınan 88 beyin tümörü hastasının bilgileri kullanılarak, DVM yöntemiyle veri setine yazılan veriler %67 sınıflandırma başarısı elde etmiştir. Bir diğer çalışmada, beyin tümörü teşhisi konulan hastaların evrelerinin tahmin edilmesi amacıyla MRS spektral görüntülerinin kullanıldığı belirtilmiştir [17]. Yapılan çalışmada, Gaussian Ayırma ve YSA teknikleriyle elde edilen başarı oranının %94 olduğu rapor edilmiştir.



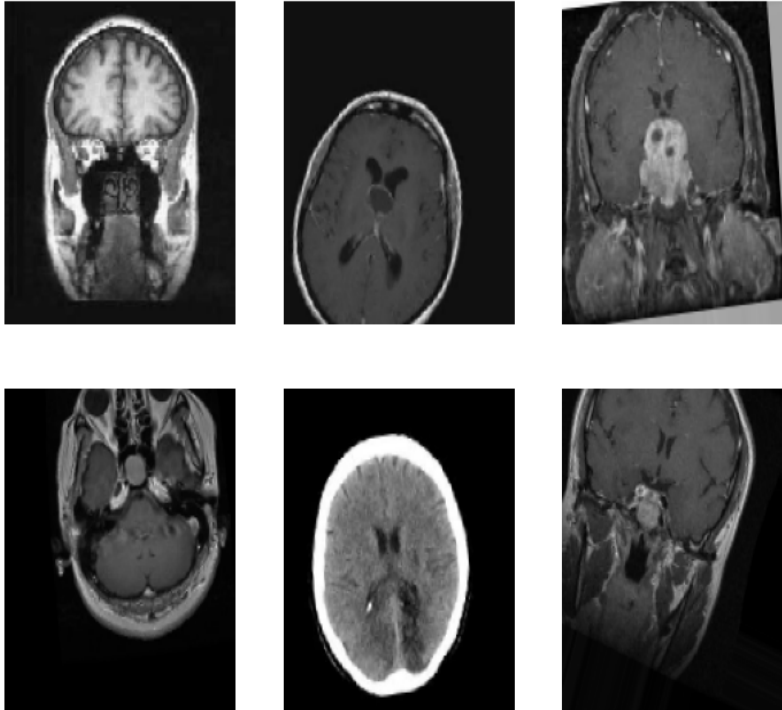
Çalışmada önerilen LSTM tabanlı derin öğrenme tekniği, biyomedikal uygulamalarda kullanılacak güncel bir sınıflandırma tekniği olarak öne çıkmaktadır. Şeker hastalığının tip 2 teşhisi ve bu hastalığın neden olduğu kalp hastalığını önleme önemine vurgu yapan bir başka çalışmada, EKG sinyalleriyle yapılan sınıflandırmada, ESA yöntemi %90 başarı elde ederken, ESA+LSTM yöntemi %95 başarı sağlamıştır [18].

Yüksek tansiyon ve düşük tansiyon, ölümcül sonuçlar doğurabilecek hastalıklardır; bu nedenle kan basıncının düzenli olarak ölçülmesi, bu hastalıkların erken teşhisi açısından kritik bir öneme sahiptir. Bu konuda yapılan bir çalışmada, Elektrokardiyografi (EKG) ve fotopleitizmografi (FPG) sinyallerinden elde edilen özellikler kullanılarak yüksek ve düşük tansiyon tahmini yapılmıştır [19]. Toplam 39 hasta verisi, EKG ve FPG sinyallerinden çıkarılan özelliklerin yapay sinir ağı ve LSTM derin öğrenme ile sınıflandırılmasıyla değerlendirilmiştir. Çalışmanın başarısı, Adaboost veri madenciliği ve LSTM derin öğrenme yöntemleriyle hesaplanan ortalama mutlak hata (mean absolute error / MAE) ve kök ortalama mutlak hata (root mean absolute error / RMAE) hata oranları karşılaştırılarak belirlenmiştir. Çalışmada önerilen ESA-LSTM modelinin, daha düşük hata oranlarına sahip olduğu gözlemlenmiştir.

### 3. Materyal ve Metod

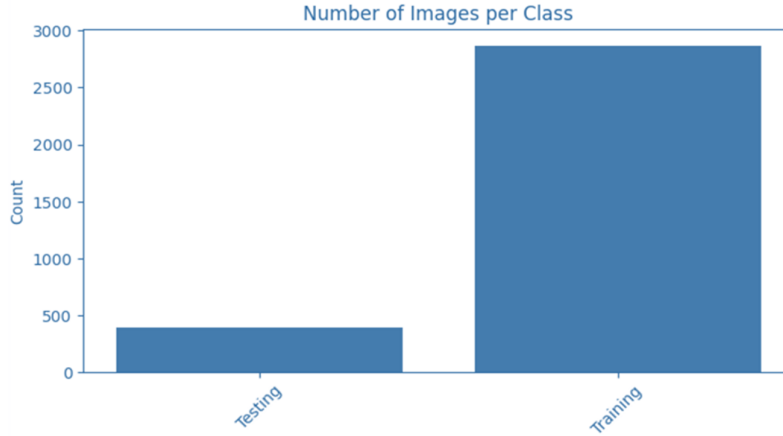
#### 3.1 Beyin Tümörü Mrg Veri Seti

Veri seti, toplamda 3264 MRG'den oluşmaktadır ve bu görüntüler glioma, meningioma, pituitary tümörleri ve iyi huylu tümör durumlarını içermektedir. Görüntülerin 394 tanesi test verisi olarak kullanılırken, 2870 tanesi eğitim verisi olarak değerlendirilmiştir. Veri setine Kaggle üzerinden açık erişimli olarak <https://www.kaggle.com/datasets/sartajbhuvaji/brain-tumor-classification-mri> url adresinden erişim sağlanmaktadır [20].



### Şekil 1. Veri setinden örnek görüntüler

Veri kümesi, Şekil 1'de veri setinden örnek beyin MR görüntüleri verilmiştir. Şekil 2'de test ve eğitim setinin verilerinin dağılımı gösterilmektedir. Eğitim seti, modelin öğrenme sürecini güdüleyen ve parametrelerini ayarlamak için kullanılan verileri içerirken, test seti modelin genelleme yeteneğini değerlendirmek amacıyla ayrılmıştır. Şekil 3 ve 4'te dört farklı sınıfa ait veri dağılımı sunulmuştur.



### Şekil 2. Test ve Eğitim setinin örneklem sayıları



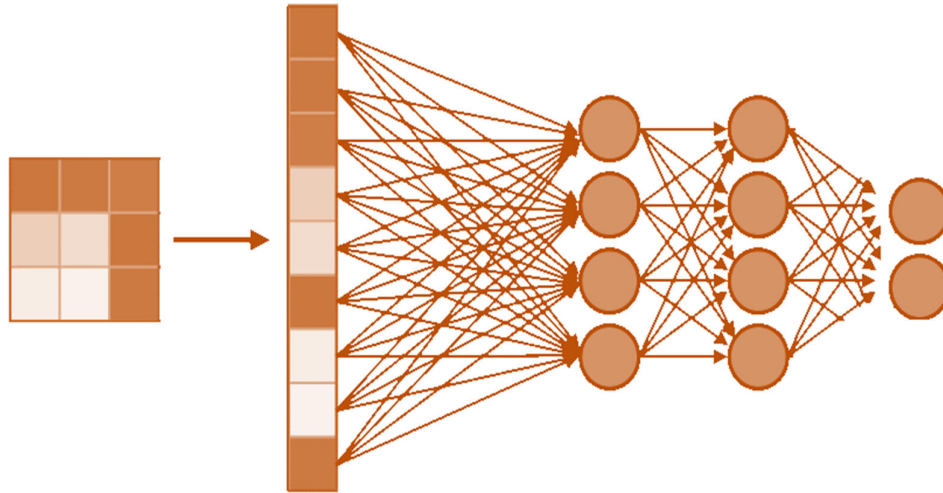
### Şekil 3. Eğitim sınıfı örneklem sayıları



Şekil 4. Test sınıfı örneklem sayıları

### 3.2 Evrişimli Sinir Ağı

ESA, bilgisayarlı görüş, desen tanıma ve diğer görsel bilgi işleme görevlerinde başarılı bir şekilde kullanılan derin öğrenme modellerinden biridir. Temelde, evrişim katmanları, havuzlama katmanları ve tam bağlantılı katmanlardan oluşan bir mimariye sahiptir. Evrişim katmanları, giriş verisindeki özellikleri vurgular ve evrişim işlemleriyle bu özellikleri çıkararak özellik haritalarını oluşturur. Havuzlama katmanları, özellik haritalarındaki boyutu azaltarak işlem yükünü hafifletirken önemli bilgileri korur. Tam bağlantılı katmanlar, elde edilen özellik haritalarını kullanarak nihai sınıflandırmayı gerçekleştirir. ESA'ler, özellikle görüntü sınıflandırma, nesne tespiti ve yüz tanıma gibi uygulamalarda yüksek başarı elde etmiştir. Ayrıca, transfer öğrenme, batch normalization, dropout gibi optimizasyon teknikleri ve çeşitli aktivasyon fonksiyonları kullanarak performanslarını artırmak için sürekli olarak geliştirilmektedir. Bu modeller, geniş veri setlerinden öğrenerek, karmaşık ilişkileri keşfetme yetenekleriyle öne çıkar ve özellikle büyük veri tabanlı görsel analiz uygulamalarında etkili bir şekilde kullanılabilirler. Gelişen donanım ve yazılım altyapısıyla birlikte, ESA'ler, gelecekteki akademik araştırmalar ve endüstriyel uygulamalar için önemli bir rol oynamaya devam edecektir. Şekil 5'te ESA mimarisi verilmiştir.



Şekil 5. ESA mimarisi

### 3.3 Uzun Kısa Süreli Bellek (Long Short-Term Memory / LSTM) Ağı,

Sıra ilişkilerini öğrenme yeteneğine sahip bir tür tekrarlayan sinir ağıdır. LSTM'ler, sıra tahmin problemlerinde ve karmaşık zaman serileri analizlerinde yaygın olarak kullanılır. Özellikle konuşma tanıma, makine çevirisi ve hisse senedi fiyat tahminleri gibi alanlarda başarılı sonuçlar elde edilir. LSTM'ler, geleneksel Tekrarlayan Sinir Ağlarına (TSA) göre daha uzun zaman aralıklarını hatırlayabilme yeteneğine sahiptir. Bu, geçmiş bilgilerin gelecekteki tahminlerde daha fazla ağırlığa sahip olduğu durumlar için oldukça önemlidir. LSTM, bu uzun vadeli bağımlılıkları daha iyi yakalayabilme yeteneği ile bilinir. Çift yönlü LSTM'ler, giriş verisini hem ileri hem de geri yönde işleyen ağlardır. Bu, özellikle sıra tahmin problemleri için yararlıdır çünkü hem geçmiş hem de gelecek bilgilere erişim sağlar. Diziden diziye LSTM modelleri, bir giriş sırasını başka bir çıkış sırasına dönüştürmek için kullanılır. Örneğin, İngilizce bir cümleyi Almanca'ya çevirmek için bir diziden diziye modeli kullanılabilir. LSTM denklemleri, ağın iç işleyişini matematiksel olarak açıklar. Bu denklemler, ağın hafıza hücresinin nasıl güncellendiğini ve bilgilerin nasıl iletim edildiğini tanımlar. Bu denklemler, LSTM'nin karmaşıklığını ve etkinliğini anlamak için önemlidir. LSTM, derin öğrenme alanında oldukça önemli bir konudur ve birçok uygulama alanında başarıyla kullanılır. LSTM'nin çalışma prensipleri ve denklemleri, uzmanlar tarafından daha iyi açıklanabilir ve anlaşılabilir olabilir, ancak genel bir

kavramsal anlayış, bu güçlü sinir ağı türünün nasıl çalıştığını anlamak için yeterlidir [6]. Şekil 6'da LSTM çalışma prensibi şeması verilmiştir.

$$f_t = \sigma(W_f[h_{t-1}, x_t] + b_f) \quad (1)$$

$$i_t = \sigma(W_i[h_{t-1}, x_t] + b_i) \quad (2)$$

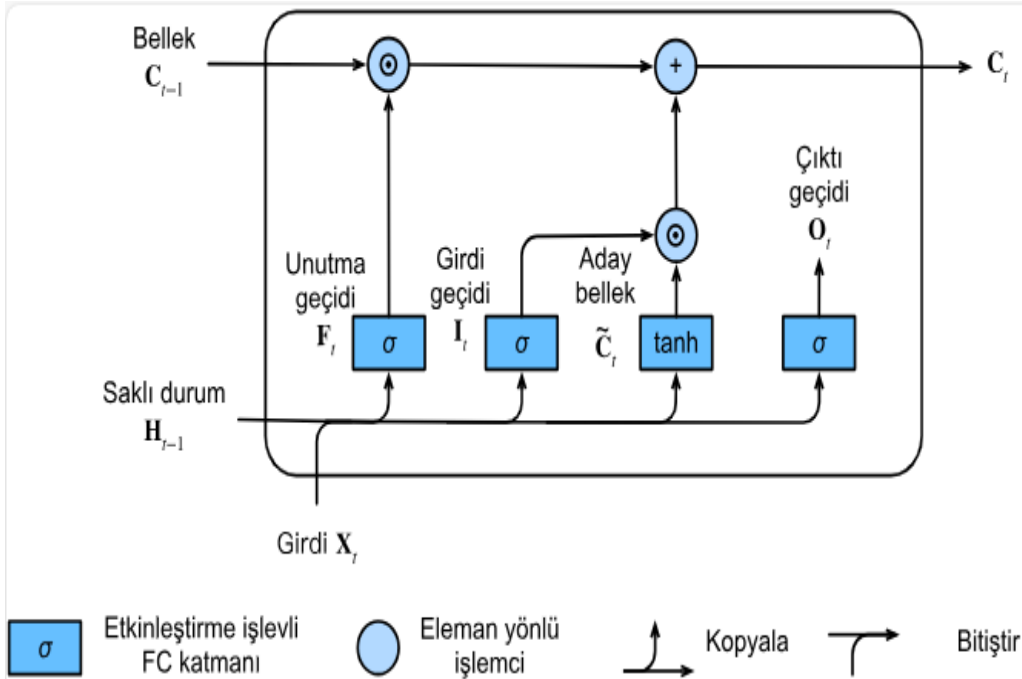
$$\tilde{C} = \tanh(W_c[h_{t-1}, x_t] + b_c) \quad (3)$$

$$C_t = f_t * C_{t-1} + i_t * \tilde{C}_t \quad (4)$$

$$O_t = \sigma(W_o[h_{t-1}, x_t] + b_o) \quad (5)$$

$$h_t = O_t * \tanh(C_t) \quad (6)$$

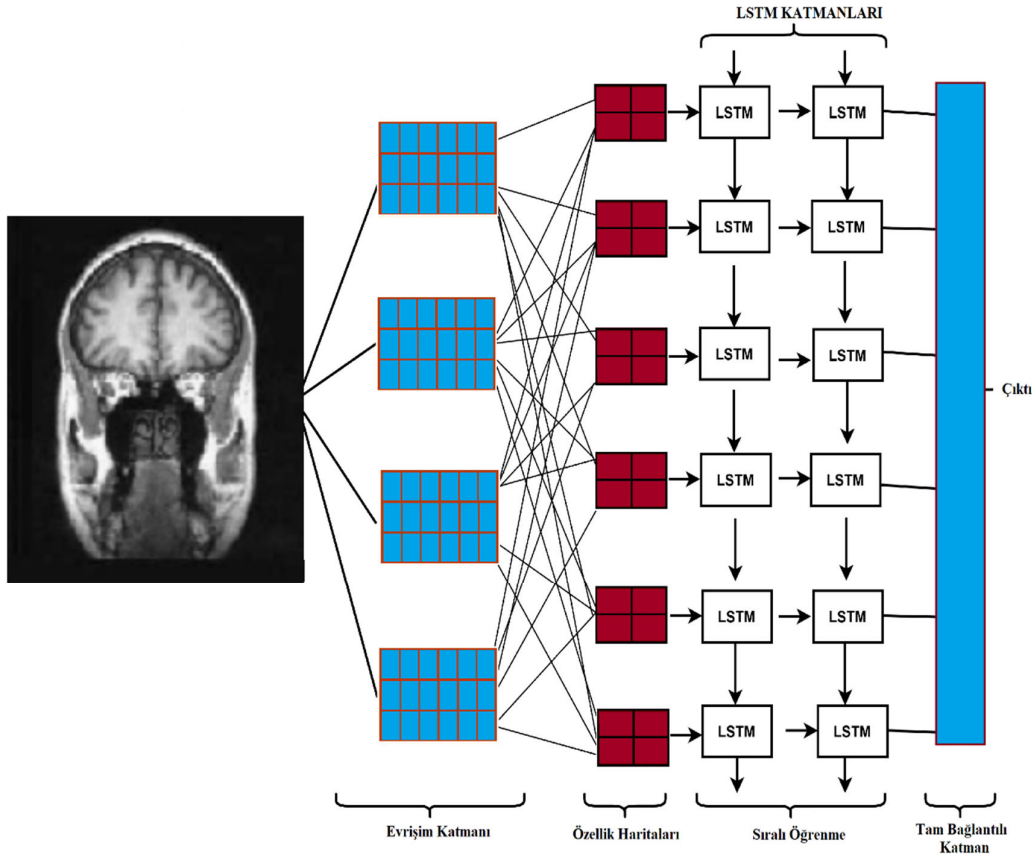
Burada b bias vektörü, W ağırlık matrisi,  $\sigma$  sigmoid fonksiyonu, t zamanı, Rd vektör koleksiyonunu İt girişleri, Ct bellek hücrelerini, Ot çıkışı, ht gizli katmanı ve d hafızanın boyutunu ifade etmektedir.



Şekil 6. LSTM çalışma prensibi

### 3.4 LSTM-ESA Mimarisi

Toplu Normalleştirme katmanı, normalleştirme nedeniyle aktivasyon fonksiyonunun birdeki karakteristik çarpıklığını ve sıfıra yakın ortalama aktivasyon ortalamasını koruyarak önceki katmana dönüşümü uygular. Normalleştirmeyi her işlem için kullanılır. Böylece her bir girdi özellik haritası tek tek normalleştirilir. Eksen seçeneği, yerleşimin hangi eksen üzerinde sonlandırılması gerektiğini tanımlar. Eğitim sırasında verileri normalleştirmek için, her grup için bilgileri yönettik ve eğitim aşamasında bir noktada hesaplanan ortalamaları kullanılmıştır [19]. Şekil 7'de önerilen ESA-LSTM mimarisi verilmiştir.



Şekil 7. ESA-LSTM mimarisi.

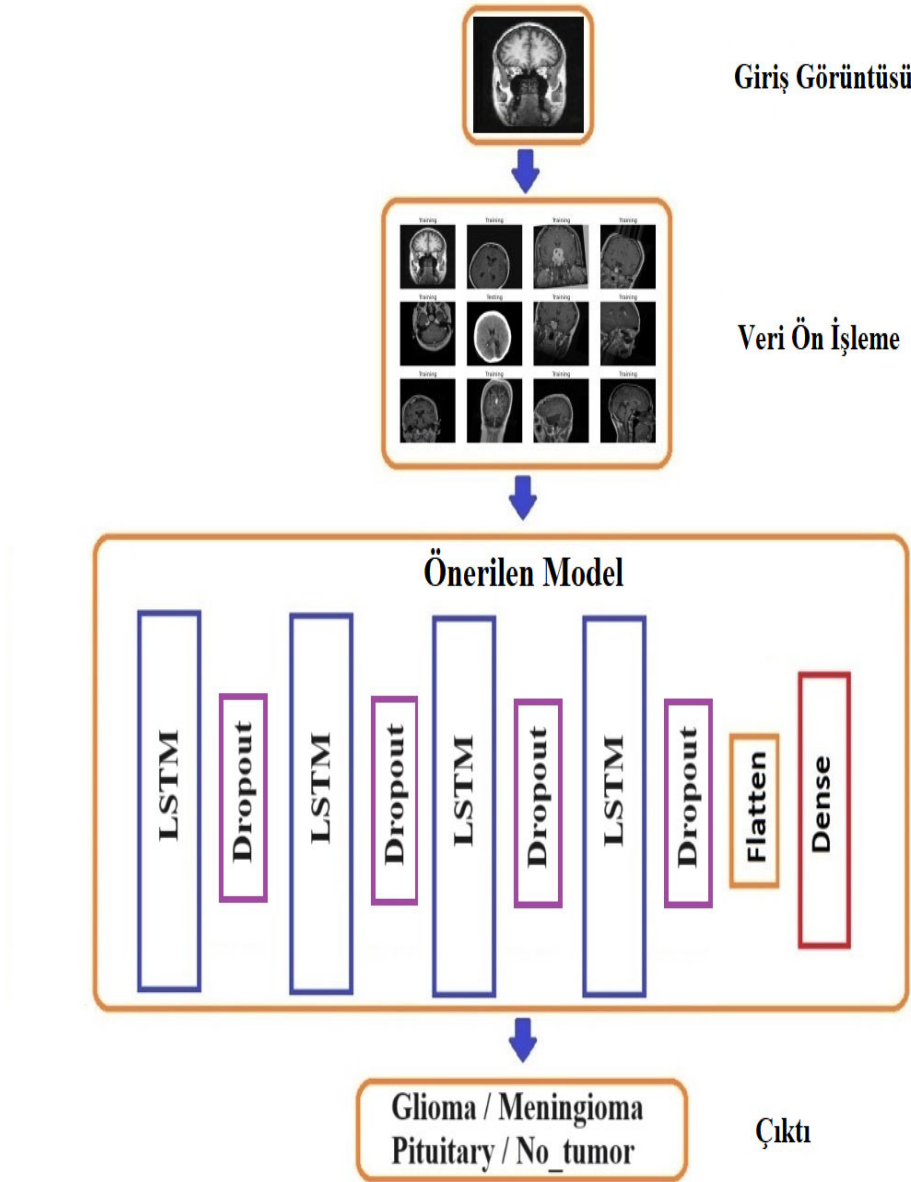
Toplu Normleştirme katmanının çıkış katmanı giriş katmanı ile aynı olduğu için LSTM hücresiyle birlikte kullanılamaz. LSTM katmanından önce, şekli yeniden şekillendirmek için bir Reshape katmanı kullanılabilir. Girdi katmanının boyutları yeniden boyutlandırıldığında LSTM hücresinden aktarılır. LSTM hücresi bir tanh veya hiperbolik tanjant tarafından etkinleştirilir. Ek olarak, LSTM hücresi, bilginin aşırı uyumunu önlemeye yardımcı olan bir bırakma oranı içerir. Bu sayede LSTM'nin özellikleri, giriş görüntüsünün uzun vadeli yapısını ve biçimini benzersiz bir düzende öğrenecektir. Ek olarak, evrişim katmanı LSTM katmanının çıktısını anında alır. Evrişim çekirdekleri, katmanın girdisiyle tek bir zamansal boyutta evrişim yaparak bir sonuç tensörü oluşturan bir evrişim katmanı kullanılarak oluşturulur. Evrişim katmanı en önemli yerel özellikleri çıkaracaktır. Bu evrişimsel katmanda aktivasyon fonksiyonu olarak Doğrultulmuş Doğrusal Birim kullanılmıştır. ESA'de daha sonra yer alan evrişimsel katman, nöronların mükemmel bağlantısı nedeniyle bir ayrılma katmanı olasılığını önler. Karışık sınıfları içeren sınıflandırma problemleri LSTM-ESA ağlarından oluşan bir model kullanılarak çözülebilir [21].

### 3.5 Önerilen ESA-LSTM Yaklaşımı

Önerilen hesaplama mimarisi, Derin Öğrenme (DÖ) için bir ESA ve LSTM içermektedir. Bu yaklaşım, beyin tümörlerini tanımak ve kategorize etmek için MRG kullanarak insan hayatını kurtarmak veya iyileştirmek amacıyla büyük öneme sahiptir. Beyin tümörlerinin erken teşhisi, tedavi seçenekleri ve hayatta kalma beklentileri açısından önemli bir rol oynayabilir. Araştırmacılar, beyin tümörlerini tespit etmek ve sınıflandırmak için farklı sınıflandırma yöntemleri önermiş olsa da tespit doğruluğu konusunda sınırlamalar vardır. Bu bağlamda, DÖ, görüntü işleme alanında çeşitli işlemleri gerçekleştirmek için kullanılan modern bir teknolojidir [22]. Derin Öğrenme stratejileri içinde, özellikle

beyin tümörlerinin sınıflandırılmasında, evrimsel sinir ağı (ESA) en yaygın kullanılan sınıflandırıcıdır ve bu alandaki önemli bir rol oynamıştır [23]. ESA'ler, zaman serilerini tahmin etmek için son derece uygundur. Bu, artan evrişimleri veya tek hücreler arasındaki ilişkileri ölçmek için filtreleri kullanabilme yetenekleri sayesinde mümkün olur. Her bir hücrenin yapısı ve boyutu, sinir ağının farklı ve çeşitlendirilmiş zaman serisi gözlemleri arasındaki ilişkileri tam olarak anlayabilmesini sağlar [24].

Zaman serilerini belirlerken, ESA ve LSTM katmanları genellikle bir araya getirilir. LSTM katmanı, zaman serilerindeki sonraki bağımlılıkları hesaba katabilirken, ESA katmanı bu süreci genişletilmiş evrişimler aracılığıyla ek bilgilerle zenginleştirir. Bu yaklaşım, beyin tümörlerini tanıma ve sınıflandırmada daha gelişmiş bir yöntem sunar. Önerilen modelin blok diyagramı Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8. Önerilen modelin blok diyagramı

Ön işlemenin temel amacı, MRG kalitesini artırmak ve daha sonra insanlar veya bilgisayarlar tarafından daha iyi işlenebilir hale getirmektir. Özellikle beyin tümörlerinin manyetik rezonans görüntülerini işlerken, ön işleme adımları görüntülerin benzerliğini artırır ve bu görüntüleri tıp uzmanları için daha uygun hale getirir. Ön işleme, bir dizi prosedürü içerebilir ve bu amaçla çeşitli yöntemler sunmaktadır. Gürültü azaltma, ön işlemenin kritik bir adımıdır [25]. Bu adım, görüntülerin netliğini ve anlaşılabilirliğini artırmaya yardımcı olur. Özellikle beyin tümörlerini teşhis etmek gibi kritik bir görevde, net ve gürültüsüz görüntüler, doğru teşhis ve değerlendirmenin temelini oluşturur. Bu amaçla, Python, Java, C gibi programlama dilleri ve OpenCV kütüphanesi, birçok ön işleme aşamasında kullanılabilir. Örneğin, OpenCV kütüphanesi ile bir görüntüye filtreler uygulanıp gürültüler azaltılabilir. Ya da görüntüden kenarlar belirginleştirilebilir. Bu işlemler, görüntülerin daha iyi işlenebilir olmasını sağlar ve sonuçta tıp uzmanlarının veya görüntüleme algoritmalarının doğru analiz yapmasına yardımcı olur.

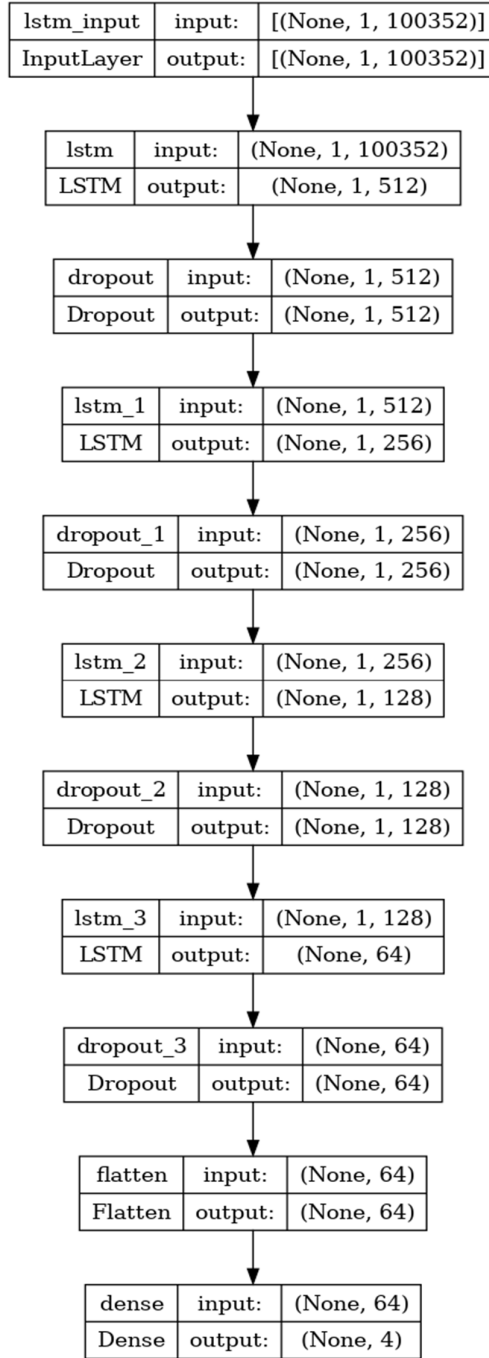
MRG, beyin görüntülerinin karmaşık yapısını içeren farklı dokuların görüntülerini elde etmek için kullanılır. Bu nedenle beyin tümörlerini teşhis etmek gibi önemli görevler için, bu görüntülerin analizi büyük bir öneme sahiptir. Tümörlerin evresini belirlemek ve tedavi yanıtını değerlendirmek için metinsel gözlemler, analizler ve terapötik yanıtların değerlendirilmesi gibi yöntemler en faydalı yaklaşımlardan biridir [26]. Ayrıca, görüntülerden avantajlı özellikler elde etmek için matematiksel yöntemler kullanılabilir [27]. Bu yöntemler, görüntülerin işlenmesi ve özelliklerin çıkarılması için kullanılan hesaplamalı teknikleri içerebilir.

Bir beyin tümörü tespitinde görüntüleri verimli bir şekilde sınıflandırmak için önerdiğimiz ESA-LSTM modeli kullanılmıştır. Görüntüleri işlemek için 4 adet LSTM katmanı, ardından dropout katmanı kullanılmıştır. Aktivasyon fonksiyonu olarak ReLU tercih edilmiştir. Son olarak veriyi düzleştirmek için 1 flatten katmanı ve 1 Dense katmanı kullanılmıştır. Çıkış katmanı için Softmax aktivasyon fonksiyonu uygulanmıştır. Önerilen yöntem ile ilgili detaylı bilgiler Çizelge 1’de verilmiştir. Çizelge 1 incelendiğinde elde edilen toplam parametre sayısı 207.605.764’tür. Bu parametrelerin tamamının eğitildiği görülmektedir. Ayrıca önerilen modelin Keras Visualization özelliği kullanılarak şematik olarak gösterimi Şekil 9’da sunulmuştur.

**Çizelge 1.** Önerilen yöntemin ayrıntıları

<b>Katman (Layer)</b>	<b>Çıktı Biçimi (Output Shape)</b>	<b>Parametre (Parameter)</b>
Lstm (LSTM)	(None, 1, 512)	206571520
Dropout (Dropout)	(None, 1, 512)	0
Lstm_1 (LSTM)	(None, 1, 256)	787456
Dropout_1 (Dropout)	(None, 1, 256)	0
Lstm_2 (LSTM)	(None, 1, 128)	197120
Dropout_2 (Dropout)	(None, 1, 128)	0
Lstm_3 (LSTM)	(None, 64)	49408
Dropout_3 (Dropout)	(None, 64)	0
Flatten (Flatten)	(None, 64)	0
Dense (Dense)	(None, 4)	260
Toplam parametreler (Total parameters):		207605764 (791.95 MB)
Eğitilebilir parametreler (Trainable parameters):		207605764 (791.95 MB)
Eğitilemeyen parametreler (Non-trainable parameters):		None (0.00 Byte)





Şekil 9. Önerilen modelin şematik gösterimi

### 3.6 Kullanılan Değerlendirme Ölçütleri

Önerilen teşhis yöntemi, genel performans değerlendirmesi için yaygın olarak kullanılan bir matris içermektedir. Bu matris, temel ölçümleri içerir ve doğruluk, geri çağırma, F1-skoru ve kesinlik gibi önemli metrikleri kapsar. Bu ölçümler, teşhis yönteminin genel performansını değerlendirmek ve gerçek dünya uygulamalarında nasıl performans gösterebileceğini anlamak için kullanılır. Genellikle, ikili sınıflandırma durumlarında sınıflandırıcının performansını değerlendirmek için tek bir metrik,

örneğin doğruluk puanı kullanılır. Ancak, bu yaklaşım, sınıflandırıcının gerçek dünya uygulamalarında nasıl performans gösterdiğini tam olarak yansıtmayabilir, çünkü bu durumda diğer önemli ölçütler göz ardı edilmiş olabilir. Bu nedenle, önerilen teşhis yöntemi, ikili sınıflandırmadan ziyade doğru bir değerlendirme yapabilmek için çeşitli değerlendirme ölçütlerini içermektedir. Bu çoklu metrikler, sınıflandırıcının etkinliği hakkında daha kapsamlı bir görünüm sunarak daha güvenilir sonuçlar elde etmeyi amaçlamaktadır. ESA-LSTM modeli farklı sınıflandırma ölçütleri kullanılarak değerlendirilmiştir: kesinlik (Precision), Geri Çağırma (Recall), F1 puanı (F1) ve doğruluk (Accuracy) [28]. Tüm değerlendirme metriklerinin hesaplanması için, eğitilen tüm modeller için bir karışıklık matrisi oluşturulur. Bu bölümde kullanılan tüm değerlendirme metriklerinin hesaplanması için gerekli olan doğru pozitif (TP), doğru negatif (TN), yanlış pozitif (FP), yanlış negatif (FN) değerlerini sağlar. Şekil 10'da bu değerlerin yer aldığı karışıklık matrisi gösterilmiştir.

		GERÇEK (TRUE) DEĞER	
		Positive	Negative
TAMİN EDİLEN (PREDICATED) DEĞER	Positive	TP	FP
	Negative	FN	TN

Şekil 10. Karışıklık Matrisi Örneği

Her hücre türüne göre doğru şekilde sınıflandırılan test örneklerinin sayısının toplam test örnekleri sayısına oranı, accuracy gösterilir ve Denklem (7)'teki gibi hesaplanır.

$$\text{Accuracy} = \frac{TP + TN}{TP + FP + FN + TN} \quad (7)$$

Her bir hücre türü tarafından doğru bir şekilde sınıflandırılan pozitif örneklerin sayısının gerçek gözlenen pozitif örneklerin sayısına oranı, recall ile belirtilir ve Denklem (8)'teki gibi hesaplanır.

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP + FN} \quad (8)$$

Her bir hücre türü tarafından doğru şekilde sınıflandırılan pozitif örneklerin sayısı ile pozitif örnekler olarak sınıflandırılan örneklerin sayısı Precision tarafından belirlenir ve Denklem (9)'daki gibi hesaplanır.

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP + FP} \quad (9)$$

F1-skor, kesinlik ve duyarlılık oranının harmonik ortalamasına karşılık gelir. F1-skoru, 0-1 arasında bir değer alır, her bir hücre sınıflandırma modelinin daha iyi performansı, daha yüksek bir F1-skoruna karşılık gelir ve Denklem (10)'deki gibi hesaplanır.

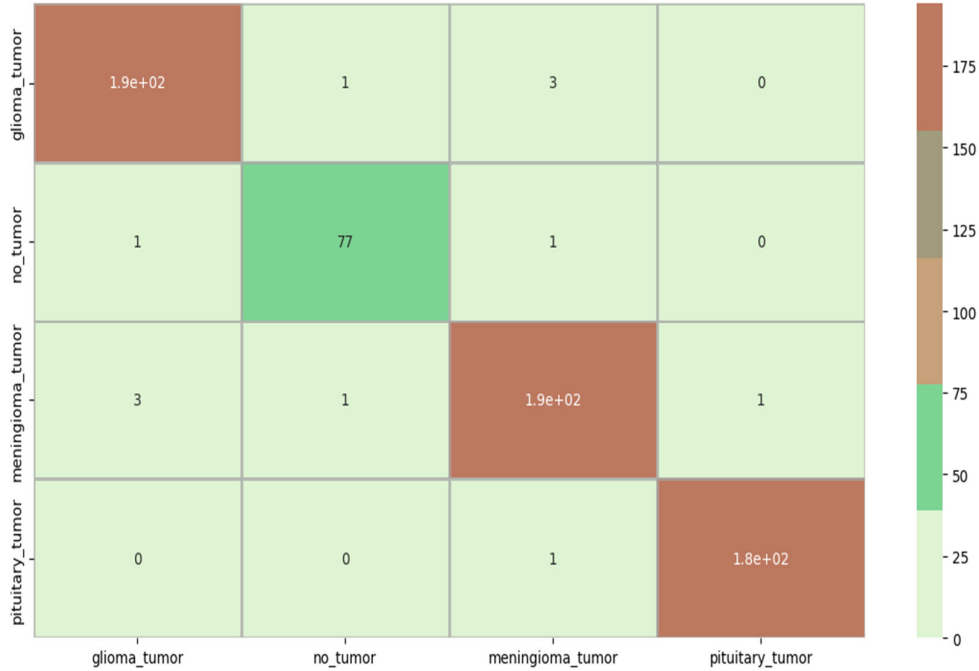
$$\mathbf{F1 - skor} = 2 \times \frac{\mathbf{Precision} \times \mathbf{Recall}}{\mathbf{Precision} + \mathbf{Recall}} \quad (10)$$

#### 4. Deneysel Sonuçlar ve Tartışmalar

Bu bölümde, MR görüntülerinde beyin tümörlerini tespit etme ve sınıflandırma amacıyla önerilen ESA-LSTM modelinin deneysel sonuçları ve karşılaştırmalı analizleri sunulmaktadır. Önerilen model, veri kümesini kullanarak farklı tümör türlerini otomatik olarak tanıma ve sınıflandırmada kullanılmıştır. Bu modelin performansı diğer yöntemlerle karşılaştırılarak etkinliği değerlendirilmiştir. Sonuçlar, modelin beyin tümörlerini tespit etme ve sınıflandırmada başarılı olduğunu gösteriyorsa, tıbbi görüntüleme alanında önemli bir ilerleme sağlayabilir.

##### 4.1 Deneysel Sonuçlar

Deneysel çalışmada, glioma, meningioma, pituitary tümörleri ve iyi huylu olmak üzere dört farklı türde beyin tümörünü içeren bir MRG veri kümesi kullanıldı. Veri seti, deney için gerekli tüm kütüphaneler içe aktarıldı. Beyin tümörlerinin tespiti, farklı türlerdeki beyin tümörlerini tanımlamayı amaçlayan önerilen ESA-LSTM modeli kullanılarak gerçekleştirildi. Bu adımlar, deneysel sürecin temelini oluşturarak, modelin beyin tümörlerini sınıflandırma performansını değerlendirmeye yönelik bir çerçeve sağlamaktadır. Eğitim ve doğrulama doğruluğu ile eğitim ve doğrulama kaybı, önerilen modelin performansını değerlendirmek için kullanılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda önerdiğimiz model için karışıklık matrisi Şekil 11'de verilmiştir.



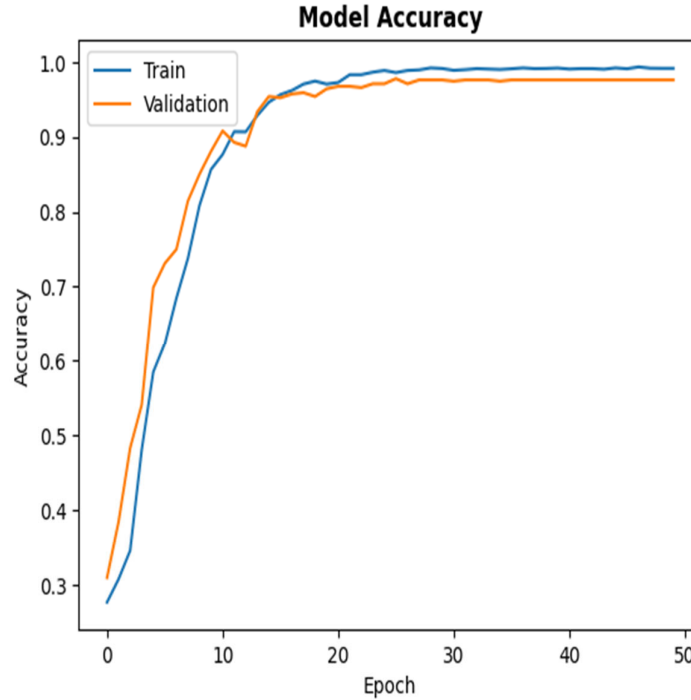
Şekil 11. Önerilen Modelin Karışıklık Matrisi

Önerilen görüntü sınıflandırma yönteminin sınıflandırma performansı, Çizelge 2'de gösterildiği gibi doğruluk, kesinlik, duyarlılık ve F1-skor açısından önceden eğitilmiş ESA tabanlı yöntemler ile karşılaştırılmıştır. Karışıklık matrisine göre modellerin, doğruluk, kesinlik, duyarlılık ve F1-skor değerleri Çizelge 2'de verilmiştir.

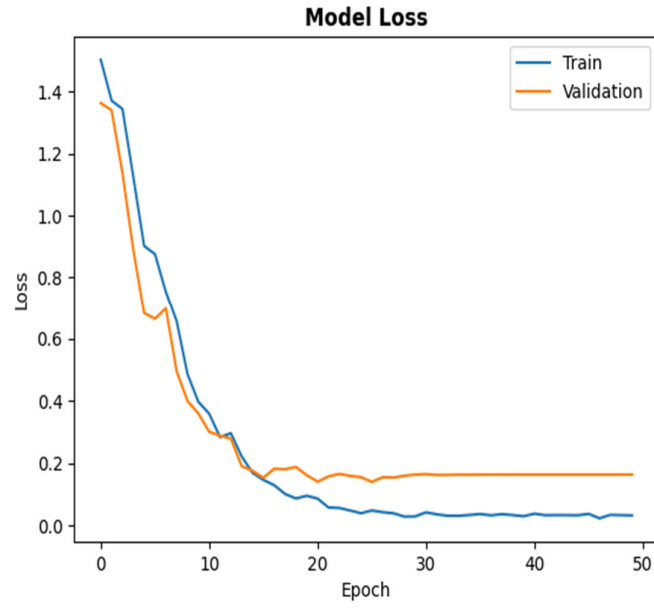
**Çizelge 2.** Model sonuçlarının değerlendirilmesi

	Precision (%)	Recall (%)	F1-Score (%)	Support
Glioma	98	98	98	198
No_Tumor	97	97	97	79
meningioma	97	97	97	192
pituitary	99	99	99	184
Accuracy			<b>98</b>	653
Macro Avg	98	98	98	653
Weighted Avg	98	98	98	653

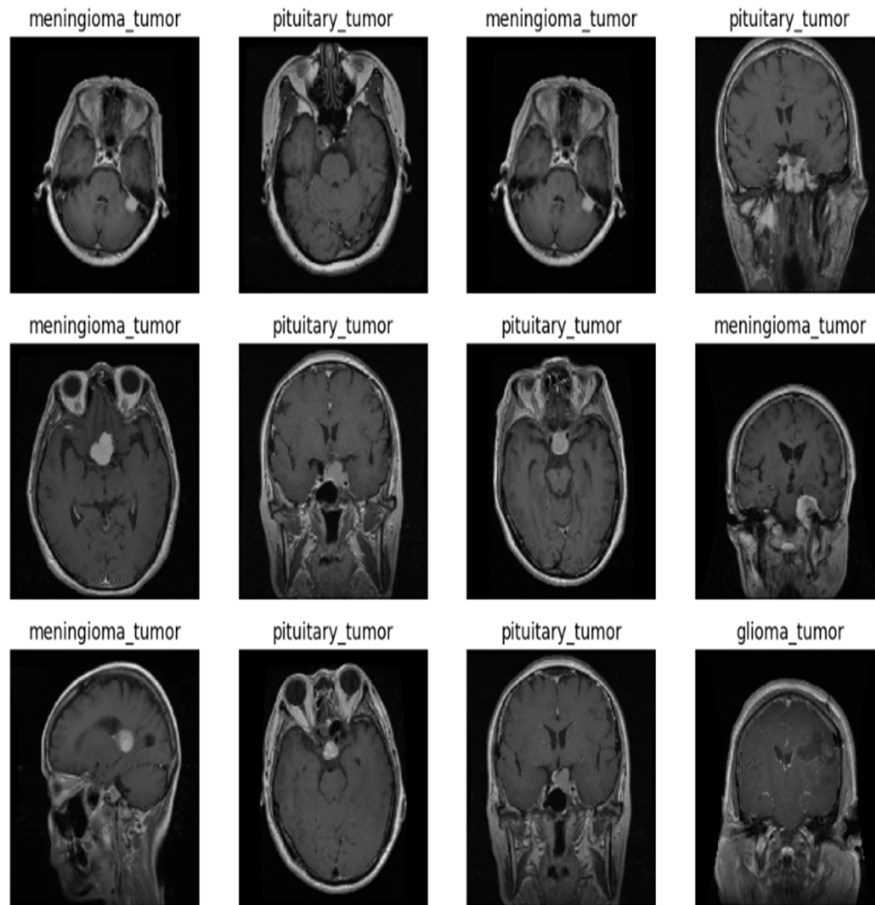
Önerilen modelin yüksek bir doğruluk seviyesine ulaştığı görülmüştür. Eğitim-doğrulama (validation) doğruluğu Şekil 12'de ve eğitim- doğrulama kaybı (loss) 50 epoch için Şekil 13'te verilmiştir. Epoch değeri arttıkça hem eğitim seti hem de doğrulama setindeki doğruluk değerleri artmaktadır. Eşzamanlı olarak, eğitim ve doğrulama kayıp eğrileri, epoch değeri arttıkça düşüş göstermektedir. Bu sonuçlar, önerilen ESA-LSTM modelinin beyin tümörü tespiti ve sınıflandırması için etkili bir yaklaşım olduğunu göstermektedir. Şekil 14'de rastgele seçilen bir görüntünün hangi tümör grubunda olduğunu tahmin edildiği bir ekran görüntüsü verilmiştir.



**Şekil 12.** Eğitim-doğrulama doğruluğu eğrisi



**Şekil 13.** Eğitim- doğrulama kaybı eğrisi



**Şekil 14.** Rastgele seçilmiş görüntülerden tümör türünün tahmin edilmesi.

#### 4.2 Önerilen Modelin Literatürdeki Mevcut Çalışmalarla Karşılaştırılması

Bu bölümde, önerilen ESA-LSTM modeli, beyin tümörü sınıflandırmasında yapılan bazı yeni çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Çizelge 3, bu önceki çalışmalar ile bizim önerdiğimiz yaklaşım arasındaki doğruluk karşılaştırmasını göstermektedir. Daha önce de belirtildiği gibi, birleştirilmiş veri seti üzerinde eğitilen önerilen ESA-LSTM modeli, %98,1'lik bir doğruluk elde ederek çalışmamızdaki en iyi sonuçlara sahiptir. Çizelge 3'deki sonuçların çoğu %85-%97 aralığında olup önerdiğimiz modelden daha düşüktür. Önerilen ESA-LSTM modelimiz %98,1 test doğruluğu ile tüm bu çalışmalardan daha iyi performans göstermektedir. Bu birleşik veri kümesi üzerinde eğitim, eğitim sürecini daha az zaman alıcı hale getirmekte ve yüksek detaylı görüntüler, sınıflandırıcının beyin tümörleri arasında ayırım yapmasını kolaylaştırmaktadır. Büyük bir harici test veri seti, modelin oluşturulmasında ablasyon tedavi yöntemi ile modelin uygun şekilde test edilmesini sağlayarak önerilen yaklaşımın sağlamlığının sağlıklı bir şekilde değerlendirilmesine katkıda bulunmaktadır. Önerilen bu yaklaşımla, birleşik veri kümesi üzerinde eğitilen ESA-LSTM, eğitim için daha az episode gerektiren diğer tüm çalışmalardan daha iyi performans gösterebilmiştir. Bu da önerilen yaklaşımın MRG taramalarından beyin tümörlerinin sınıflandırılmasındaki potansiyelini göstermektedir.

**Çizelge 3.** Önerilen modelin literatür sonuçları ile karşılaştırılması

Çalışmalar	Sınıflandırıcı	Veri Seti	Doğruluk (%)
Zhuge et al. [23]	3DConvNet	T1-T1-Gd, T2 weighted contrast-enhanced MRI Segmentation(BraTS) Benchmark	97,1
Badža et al. [28]	ESA	T1-weighted contrast-enhanced MRI (Figshare dataset)	96.56
Afshar et al. [29]	CapsNet	T1-weighted contrast-enhanced MRI (Figshare dataset)	86.56
Gumaei et al. [30]	ESA	T1-weighted contrast-enhanced MRI (Figshare dataset)	94.23
Pashaei et al. [31]	ESA	T1-weighted contrast-enhanced MRI (Figshare dataset)	93.68
Abiwinanda et al.[32]	ESA	T1-weighted contrast-enhanced MRI (Figshare dataset)	84.19
Hemanth et al. [33]	Modifed Deep ESA	T1-weighted contrast-enhanced MRI (Figshare dataset)	96,49
Mzoughi et al. [34]	Deep ESA	T1, and T2-weighted contrast-enhanced MRI (Devaki Scan Centre dataset)	96,4
Propoded Method	ESA-LSTM	T1-weighted contrast-enhanced MRI (Figshare dataset)	<b>98,1</b>

#### 5. Sonuçlar

Beyin tümörünün tespiti ve sınıflandırılması, hastaları iyileştirmek veya hastaların ömürlerini uzatmak için kritik bir öneme sahiptir. Bu çalışmada, manyetik rezonans görüntülerinde beyin tümörlerini otomatik olarak tespit etmek ve sınıflandırmak amacıyla bir ESA-LSTM modeli geliştirilmiştir. Modelin etkinliğini doğrulamak için açık erişimli beyin tümörü MRG veri setleriyle karşılaştırmalar yapılmıştır. Önerilen model, beyin tümörü türlerini sınıflandırmada önemli bir gelişme sağlamıştır. Bu çalışmanın amacı, tıbbi uzmanların kanseri belirlemek için tek bir hastanın tüm MRG sekanslarını analiz etme sürecini, en yüksek doğruluk ve en düşük hesaplama karmaşıklığına sahip bir derin öğrenme yaklaşımını önermektir. Bu araştırmada, beyin tümörlerini sınıflandırmak amacıyla

geliştirilen ESA-LSTM adlı tamamen otomatik hibrit bir ESA modeli önerilmiştir. Giriş katmanı, bir hastanın MRG dizisinin tamamının tek bir giriş verisi olarak işlenebilmesine olanak tanımaktadır. Bu yöntem, ESA ve LSTM'in birleştirilmesi sayesinde zaman içindeki bilgilerin tutarlı bir şekilde değerlendirilmesini sağlayarak sınıflandırma doğruluğunu artırmıştır. Elde edilen sonuçlar yapılandırılmış ESA-LSTM ağının %98.01'lik en yüksek doğruluğa ulaştığını göstermektedir. MRG sekanslarını birleştirip analiz etmek, en düşük zaman karmaşıklığını korurken en yüksek doğruluğu elde etmek amacıyla yapılan ablasyon tedavi yöntemi, geliştirilen ESA-LSTM modeli için önemli bir yöntemi temsil ediyor. Deneysel sonuçlar, bu modelin doğruluk, kesinlik ve geri çağırma oranları açısından önceki ESA tekniklerinden daha iyi performans sağladığını göstermektedir. Ayrıca beyin tümörü teşhisi ve sınıflandırılmasında bu tür derin öğrenme yöntemlerinin kullanımının gelecekteki tıbbi uygulamalarda potansiyel olarak büyük bir katkı sağlayabileceğini de kanıtlamaktadır.

### Çıkar Çatışması Beyanı

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

### Kaynaklar

- [1] S. Abbas et al., "BCD-WERT: a novel approach for breast cancer detection using whale optimization based efficient features and extremely randomized tree algorithm," *PeerJ Computer Science*, 2021.
- [2] C. Dhananjaya et al., "Identification of malnutrition and prediction of BMI from facial images using real-time image processing and machine learning," *IET Image Processing*, 2021.
- [3] T.R. Gadekallu et al., "Hand gesture classification using a novel CNN-crow search algorithm," *Complex & Intelligent Systems*, 2021, pp. 1–14.
- [4] E.F. Badran et al., "An algorithm for detecting brain tumors in MRI images," in *The 2010 International Conference on Computer Engineering & Systems*, Cairo, Egypt, 2010, pp. 368–373.
- [5] İ. Çetiner, "Konvolüsyonel Sinir Ağı Kullanılarak Sıtma Hastalığı Sınıflandırılması," *Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 9, no. 17, pp. 273–286, Ağu. 2022.
- [6] H. Çetiner, "Multi-Label Text Analysis With A Cnn And Lstm Based Hybrid Deep Learning Model," *Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 9, no. 17, pp. 447–457, Ağu. 2022.
- [7] B. Srikanth and S. Venkata Suryanarayana, "Multi-Class classification of brain tumor images using data augmentation with deep neural network," in *Materials Today: Proceedings*, 2021.
- [8] R. Hashemzahi et al., "Detection of brain tumors from MRI images base on deep learning using hybrid models CNN and NADE," *Biocybern. Biomed. Eng.*, vol. 40, no. 3, pp. 1225–1232, 2020.
- [9] S. Halimeh Sinar and M.D. Teshnehab, "Diagnosing and Classification Tumor and M.S. Simultaneous Magnetic Resonance Images Using Convolution Neural Network," *CFIS*, 2019.
- [10] P.M. Ameer and S. Deepak, "Brain tumor classification using deep CNN features via transfer learning," *Computers in Biology and Medicine*, vol. 111, 2019, Art. no. 103345.
- [11] H.E.S.M. Mohsen and A.B.M. Salem, "Classification using deep learning neural networks for brain tumors," *FCIJ*, 2018, pp. 68–71.
- [12] Z. Sobhaninia et al., "Brain tumor segmentation using deep learning by type-specific sorting of images," *Computer Science*, 2018.
- [13] S. Sajid et al., "Brain tumor detection and Segmentation in M.R. images using deep learning," *Arabian Journal for Science and Engineering*, vol. 44, no. 11, pp. 9249–9261, 2019.
- [14] S. Hussain and M. Majid, "Brain tumor segmentation using cascaded deep convolutional neural network," in *39th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, Jeju, Korea (South), 2017, pp. 1998–2001.
- [15] S. Pereira, "Brain tumor segmentation using convolutional neural networks in MRI images," *IEEE transactions on medical imaging*, vol. 35, no. 5, pp. 1240–1251, 2016.



- [16] M. Nagori and M. Joshi, "Methods and algorithms for extracting values from MRS Graph for brain tumor detection," in 2013 International Conference on Electronic Engineering and Computer Science (EECS 2013), Beijing, China, 2013, pp. 331–336.
- [17] A. Carlos et al., "Automated classification of brain tumors from short echo time in vivo MRS data using gaussian decomposition and bayesian neural networks," *Expert Syst. Appl.*, vol. 41, pp. 5296–5307, 2014.
- [18] G. Swapna, K.P. Soman, and R. Vinayakumar, "Automated detection of diabetes using ESA and ESA-LSTM network and heart rate signals," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 132, pp. 1253–1262, 2018.
- [19] S. Tanveer et al., "Cuffless blood pressure estimation from electrocardiogram and photoplethysmogram using waveform based ANN-LSTM network," *Biomed. Signal Process. Control*, vol. 51, pp. 382–392, 2019.
- [20] B. Sartaj, "Kaggle Dataset, Brain Tumor Classification (MRI)," 7 April 2019 [Online]. Available: <https://www.kaggle.com/datasets/sartajbhuvaji/brain-tumor-classification-mri>.
- [21] A.I. Tawk and W.H. Kamr, "Diagnostic value of 3D-FLAIR magnetic resonance sequence in detection of white matter brain lesions in multiple sclerosis," *Egyptian J. Radiol. Nucl. Med.*, vol. 51, no. 1, pp. 1–9, Dec. 2020.
- [22] Y. Özüpak, "Evrişimli Sinir Ağı (ESA) Mimarileri ile Hücre Görüntülerinden Sıtmanın Tespit Edilmesi," *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, vol. 39, no. 1, pp. 197–210, 2024.
- [23] Y. Zhuge et al., "Automated glioma grading on conventional MRI images using deep convolutional neural networks," *Med. Phys.*, vol. 47, no. 7, pp. 3044–3053, Jul. 2020.
- [24] E. Aslan and Y. Özüpak, "Classification of Blood Cells with Convolutional Neural Network Model," *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, vol. 13, no. 1, pp. 314–326, 2024.
- [25] I. Shahzadi et al., "CNN-LSTM: Cascaded framework for brain tumour classification," in *Proc. IEEE-EMBS Conf. Biomed. Eng. Sci. (IECBES)*, Dec. 2018, pp. 633–637.
- [26] S.B. Jiang et al., "An efficient fault diagnostic method for three-phase induction motors based on incremental broad learning and non-negative matrix factorization," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 17780–17790, 2019.
- [27] A.A. Novikov et al., "Deep sequential segmentation of organs in volumetric medical scans," *IEEE Trans. Med. Imag.*, vol. 38, no. 5, pp. 1207–1215, May 2019.
- [28] M.M. Badža and M.Č. Barjaktarović, "Classification of brain tumors from MRI images using a convolutional neural network," *Appl Sci.*, vol. 10, no. 6, Art. no. 1999, 2020.
- [29] P. Afshar, A. Mohammadi, and K.N. Plataniotis, "Brain tumor type classification via capsule networks," in 2018 25th IEEE international conference on image processing (ICIP), IEEE, 2018, pp. 3129–3133.
- [30] A. Gumaedi et al., "A Hybrid feature extraction method with regularized extreme learning machine for brain tumor classification," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 36266–36273, 2019.
- [31] A. Pashaei, H. Sajedi, and N. Jazayeri, "Brain tumor classification via convolutional neural network and extreme learning machines," in 2018 8th international conference on computer and knowledge engineering (ICCKE), IEEE, 2018.
- [32] N. Abiwinanda et al., "Brain tumor classification using convolutional neural network," in *World congress on medical physics and biomedical engineering 2018*, Singapore: Springer, 2019, pp. 183–189.
- [33] D.J. Hemanth et al., "A modified deep convolutional neural network for abnormal brain image classification," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 4275–4283, 2018.
- [34] H. Mzoughi et al., "Deep multi-scale 3D convolutional neural network (CNN) for MRI gliomas brain tumor classification," *J. Digit. Imag.*, vol. 33, no. 4, pp. 903–915, Aug. 2020.

## EVALUATION OF NOVEL PLANT-BASED MILK PRODUCED FROM MELON KERNEL

**Çağlar Mert AYDIN<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Munzur Üniversitesi, Tunceli Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, Tunceli, 00062, Türkiye

Geliş Tarihi/Received Date: 26.09.2023 Kabul Tarihi/Accepted Date: 05.02.2024 DOI: 10.54365/adyumbd.1366487

### ABSTRACT

In this study, the possible use of melon kernel (*Cucumis melo* L.) as a source for the production of a daily milk alternative was evaluated. For this purpose, the study evaluated the proximate composition, physicochemical properties, and sensory properties of the milk from the kultik kernel. Overall, proximate composition consists of %88.84 moisture, %1.08 ash, %0.96 protein, %5.50 fat, and %3.63 carbohydrate content. The low protein content of the milk limits its usage as an ingredient in the production of fermented dairy products. Physicochemical properties showed that kultik kernel milk is rich in nutritional value. The rheological behaviour of the milk was non-Newtonian with a pseudoplastic character. Similar flow characteristics to dairy milk enable the milk sample to be produced in existing equipment and processes, allowing large-scale industrial production. In addition, the sensory scores of the milk sample showed that new formulas for the milk sample should be developed in further studies.

**Keywords:** Kultik, kernel, dairy, milk, alternative.

## KAVUN ÇEKİRDEĞİNDEN ÜRETİLEN YENİ BİTKİSEL SÜTÜN DEĞERLENDİRİLMESİ

### ÖZET

Bu çalışmada kavun çekirdeğinin (*Cucumis melo* L.) günlük süt üretiminde alternatif kaynak olarak kullanım imkanı değerlendirilmiştir. Bu amaçla çalışmada kultik çekirdeğinden elde edilen sütün bileşimi, fizikokimyasal özellikleri ve duyu özellikleri değerlendirilmiştir. Genel olarak, bileşiminin %88.84 nem, %1.08 kül, %0.96 protein, %5.50 yağ ve %3.63 karbonhidrat olduğu belirlenmiştir. Düşük protein içeriği, alternatif süt ürününün fermente ürünlerin üretiminde kullanım imkanlarını sınırlandırmaktadır. Ancak fizikokimyasal içeriği incelendiğinde sütün besin içeriğinin yüksek olduğu belirlenmiştir. Sütün reolojik davranışı Newtonyen olmayan ve psödoplastik karakter göstermiştir. İnek sütüne benzer akışkanlık özellikleri göstermesinden dolayı kavun çekirdeği sütünün mevcut ekipman ve proseslerde büyük ölçekli olarak üretiminin uygun olduğu bulunmuştur. Ayrıca duyu analiz sonuçları süt örneğinin ileriki çalışmalarda yeni formülasyon denemeleri yapılarak geliştirilmesi gerektiğini göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kultik, çekirdek, süt ürünleri, süt, alternatif.

<sup>1</sup> e-posta<sup>1</sup> : [cmaydin@munzur.edu.tr](mailto:cmaydin@munzur.edu.tr) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4078-7410> (Sorumlu Yazar)

## 1. Introduction

Awareness of a healthy diet has changed consumers' preferences. Food products that are rich in bioactive compounds are more widely preferred to consume [1]. Vegetative foods have a high amount of nutritional value. Thus, costumer who have a disability and cannot consume lactose prefer to use vegetarian foods. It leads a vegan food market size to increase year by year [2, 5]. The development of non-dairy functional food products, that are prepared by adding/ replacing/ fortifying with fruits, cereals, and vegetables; offers opportunities for manufacturers who tend to invest in vegan food market for alternative food products, such as meat substitutes, egg-like foods, plant-based milks, etc. The fastest-sprawling vegan food product on the market is plant-based milks [3, 22, 29].

Plant-based milks are produced by the extraction of plant sources from water. Soy milk is the most preferred plant-based milk product in the world. To date, various plant sources, including hazelnut, peanut, almond, soy, rice, etc., have been used in the production [2]. The production process consists of various stages. These are soaking, grinding, separation, hydrolysis, blanching, thermal processing, homogenization, and formulation [4, 12]. The main advances of plant-based milks over dairy milk are lactose- and cholesterol-free. In addition to these advantages, plant-based milks are rich in bioactive components, including minerals, phenolic substances, and fatty acids. The biggest disadvantages of plant-based milk over dairy milk are the low content of protein, vitamins, and minerals, and bad sensory perception [5, 11]. Therefore, even though plant-based milks—can be produced from different plant sources, further studies are required to develop the possible usage of plant-based milks as an alternative to dairy milk.

The nutritional qualities of plant-based milks show differences depending on the plant source, ingredients, and processing method [5]. Even though plant-based milks have some disadvantages, they can be overcome in the change of ingredients and processing. The formulation that has been reported in previous studies includes a combination of different ingredients, including the milks from different plant sources [5, 20, 29] and a mixture of plant-based milks with different foodstuffs such as chocolate and flavor agents [8]. In this study, it was aimed to evaluate the proximate composition and physicochemical properties of a novel plant-based milk from kultik kernel and to evaluate the kernel as an alternative ingredient to dairy milk for those who have disability to consume dairy milk, and to show its capacity to produce functional food products. For this purpose, the proximate composition (ash, oil, protein, moisture, and carbohydrate contents), physicochemical properties (whiteness index, DPPH antioxidant activity, total phenolic content, and apparent viscosity), and sensory properties (color, appearance, taste, and acceptability) of the sample were identified.

## 2. Materials and Methods

### 2.1. Materials

#### 2.1.1. Sample Preparation:

Sample preparation was performed according to the study of Alozie and Udofia [3]. Kultik kernels that were harvested in 2023, were sorted to remove the spoilt and foreign materials. They were washed, and then dried for four days at 25°C in the dark. One kilogram of the kernel was soaked in deionized water for six hours at 1:3 (w/v) kernel to water ratio; thereafter, the mess was milled in a kitchen blender (Fisher Scientific, Model 8010 ES) using maximum speed for five minutes. The resultant slurry was strained through a filter paper (Whatman, Cat no 1004; diameter 110; pore size 20-25 µ). The vegetable milk sample, kultik kernel milk, was homogenized and pasteurized at 60°C for fifteen minutes. The milk extract was bottled in sterilized screw capped glass bottle and stored at 4°C.

#### 2.2. Psychochemical Properties Analysis:

The psychochemical properties; that include ash, moisture, fat, brix and titratable acidity; of plant-based milk sample were evaluated using standard methods described in the study of Kookal and Thimmaiah [19]. The protein content of the sample was derived from nitrogen content. To calculate true protein content, no specific nitrogen conversion factor was found; thus, the standard conversion factor of 6.25 was used. The color was measured with a colorimeter, and the results were expressed as the chromatic space L, a, and b values as defined by the International Commission on Lighting (CIE) in 1976. L value represents the color's clarity; a value is for the sample location between red and green, while b value is for the location between yellow and blue [13]. The whiteness index was calculated using the following formula:

$$WI= 100- \sqrt{[(100 - L)^2 + a^2 + b^2]}$$

#### 2.3. Total Phenolic Content (TPC):

The TPC of the sample was determined according to the study of Ertan et al. [25]. Folin-Ciocalteu reagent (Merck, Germany) was mixed with water (1:10) to prepare folin- ciocalteu solution (FC solution). The FC solution was added to 1 mL of standard or sample diluted at a suitable rate, and then the mixture was incubated for 3 minutes. 4 mL of sodium carbonate solution (7.5%; Sigma, USA) were added into the mix. After incubation for 2 hours at room temperature in dark, the absorbance values of the samples were measured at a wavelength of 760 nm against distilled water using UV-Vis spectroscopy (Shimadzu, UV-1800). To draw a calibration chart, gallic acid was prepared with different concentrations, resulting in a calibration curve of  $y=0.0046x+0.1256$ ,  $R^2>0.99$ . The phenolic content of

the samples calculated according to the chart and expressed as mg gallic acid equivalent (GAE) per L of melon milk sample.

#### **2.4. Antioxidant activity**

DPPH antioxidant activity was measured for a milk sample according to the method described by Zhu et al. [26]. 0.1 mL, diluted at a suitable rate using methanol, of the sample was mixed with 3.9 mL of DPPH solution ( $4 \times 10^{-3}$  g of DPPH in 50 mL methanol). The mixture waited in the dark for 30 min. The absorbance values of the samples were measured at a wavelength of 517 nm. The standard curve of trolox was conducted with various concentrations, resulting in the calibration curve of  $y=0.0042x+0.0146$  ( $R^2>0.99$ ).

#### **2.5. Apparent viscosity assay**

The viscosity of melon milk sample was determined using Anton Paar MCR 301 (Anton Paar GmbH, Graz, Austria) at 25 °C (298.15 K) at a storage time of 1 day. The apparent viscosity of the sample was measured according to Ibrahim et al. [27]. The parallel cone (PP 25) was equipped. The gap was set to 0.3 mm. A controlled ramped shear rate was performed to determine the rheological properties of the samples. The shear rate steadily increased from 0 to 100 s<sup>-1</sup> in 10 min. The average of all the measured data was accepted as the viscosity. All rheological data were collected and calculated by Anton Paar Labor- software version. All rheological measurements were performed in triplicate.

#### **2.6. Sensory evaluation**

Twenty semi-trained panelists joined the sensory evaluation of a vegetative milk sample from kultik kernel. The panelists include 10 women and 10 men, aged between 20 and 35, and they are students or staff of Munzur University. After 1 day of production, the kernel milk waited in the refrigerator, and the sample was presented to panelists for evaluation [28]. The ratings were displayed on a 9- point hedonic ranking scale with the following score expressions: 1 = highly dislike, 2 = dislike very much, 3 = rather dislike, 4 = dislike a little, 5 = neither like nor dislike, 6 = quite like, 7 = rather like, 8 = like a lot, and 9 = like very much [28]. The parameters utilized in the sensory evaluation were appearance, texture, taste quality, and overall acceptance. The values gained from the panelists were assessed from the averages scores of the panelist's values in duplicate for each sample. Randomized three-digit numbers (for example, 101, 205) were assigned to each sample of about 25 mL. All samples were served at 4°C.

### 2.7. Statistical analysis

SPSS 29 was used to evaluate the results. The results displayed in the tables were the mean value of triplicate measurements according to a randomized block design. In addition, the mean value for each sensory attribute was calculated from twenty judgments.

## 3. Results and Discussions

### 3.1. Proximate composition of Kultik kernel milk

There is a need to find a solution particularly for people suffering from specific clinical conditions, including allergies or intolerances to cow's milk proteins and carbohydrates. Plant-based milks are accepted as a good alternative to dairy milk and are often sold close to dairy milks in stores. They are deemed healthier and more sustainable products than dairy milk [18, 29]. The result of this study gives information as to the milk produced from kultik kernel, which is considered food waste but is rich in nutritional content.

**Table 1.** Proximate composition of kultik kernel milk.

Proximate Composition	Kultik Kernel Milk
Moisture Content, %	88.84 ± 0.05
Ash Content, %	1.08 ± 0.03
Protein Content, %	0.96 ± 0.03
Crude Fat, %	5.50 ± 0.11
Carbohydrate, %	3.63 ± 0.20

Mean value ± standard error (n=3). Results are mean values of triplicate measurements.

The proximate composition of the milk sample is displayed in Table 1. The concentration of proximate composition in plant-based milks is influenced by moisture content. The moisture level obtained for the sample milk was similar to values stated for soymilk (88.12%), almond milk (86.11%) [3], and milk of melon seed harvested in Ibadan, Nigeria (88.0%) [23]. However, lower moisture content was reported in the studies; that used a 1:6 ratio (w/v) in production, for the plant-based milks from cashew nut (82.66%) [7] and tiger nut (79.29%) [1]. The ratio of water to plant sources can affect the moisture content of plant-based milks [23]. The ash value indicates the level of mineral content in foodstuffs [7]. Even though the ash content of kultik kernel milk was lower than values reported for Nigerian melon seed milk (1.62%) [23] and almond milk (3.04%) [3], but it was higher than values reported for soymilk (0.84%), coconut milk (0.71%) [21], cashew nut milk (0.90%) [7], and dairy milk (0.70%) [3, 7, 21, 23]. Thus, the higher ash content of kultik kernel milk in comparison to dairy milk shows the milk sample as a good alternative to cow milk. The protein content of the milk sample was

higher than the protein contents of the milks from other plant sources, including almond, cashew, oat, sunflower seed, pumpkin seed, and coconut [5, 12], but it was lower than that of other melon seed varieties [23]. Thus, kultik kernel milk, as an alternative to dairy milk, is more suitable than other plant-based milks for the production of fermented dairy products. Fat is the major energy source in foods. The amount of fat in kultik kernel milk (5.50%) was higher than the minimum requirement level for plant-based milks by Codex Alimentarius [3]. It is also higher than the oil content of other plant-based milks, including soymilk (3.20%), almond milk (3.40%) [3], Nigerian melon seed milk (3.09%) [23], coconut milk (3.3%), and oat milk (2.1%) [12]. The milk sample is sufficient as an energy source and thus can produce a protein sparing effect [23].

### ***3.2. Physicochemical properties of Kultik kernel milk***

The physicochemical properties of the milk sample are shown in Table 2. Total titratable acidity (T.T.A.) of the milk was 0.14%, which is higher than T.T.A. values of milks produced from other plant sources (cashew nut milk and soy milk) having lower pH value [7, 20] while it is lower than T.T.A. values of milks produced from soy and tiger nut having higher pH value [10, 24]. The inverse relationship between pH value and T.T.A. in milk and milk products is related to glucose concentration, which increases proton ( $H^+$ ) concentration while lowering lactic acid production [9]. An acidic pH has an effect on susceptibility at ambient temperature. Susceptibility is the matter in stabilizing dairy products throughout pasteurization and storage at convenient conditions [7]. A high acidic pH of kultik kernel milk (5.65) indicates that the milk sample is suitable for immediate consumption. The shelf life can be extended by the addition of sugar or flavour that decreases the acidity of milk products [7, 8]. Thus, a further study is needed to investigate the effect of the additions on extending the shelf life of kultik kernel milk.

Dairy milk contains natural sugar such as lactose and glucose. It makes difficult especially for those having lactose-intolerance. Those people can consume plant-based milks that have no glucose content [2, 29]. The total sugar contents of plant-based milks vary according to many factors, including the type of plant source, extraction conditions, and the ratio of water to plant material [9]. The total sugar content of the milk sample was an average of 2.23 °Brix. It is lower than the total sugar contents of other plant-based milks, including cashew nut (3.00 °Brix) [7], tiger nut (5.10 °Brix) [4], soy (18.70 °Brix), and coconut (3.10 °Brix) [20, 24]. Even though low sugar content is preferred for health, it leads to lower sensory scores and overall acceptance [7].

The colorimetric properties of the milk sample were expressed as a function of the Whitening Index (WI), which is determined by calculating the chromatic space L, a, and b values. Every plant-based milk has a unique WI value [13]. WI values of plant-based milks show diversity according to the

plant source, and the WI value of the kultik kernel milk sample was 22.75, being lower than the WI value of hemp's milk (34.97); but being higher than almond's milk (21.46) and oat's milk (9.48) [13].

Plant-based milks have unique antioxidant and phenolic contents that are mainly related to plant sources [13]. Total phenolic content in the sample was 7.85 mg GAE/L, which is higher than TPC in almond, soy, oat, and quinoa milks [11, 13, 18]. The DPPH antioxidant activity in the sample was also higher than that of other plant-based milks, including hazelnut and pumpkin seed [5]. However, TPC and DPPH of the sample were lower than cow's milk [17]. Therefore, kultik kernel milk can be assessed as a fortified beverage milk alternative to dairy milk on the market.

**Table 2.** Physicochemical properties of kultik kernel milk.

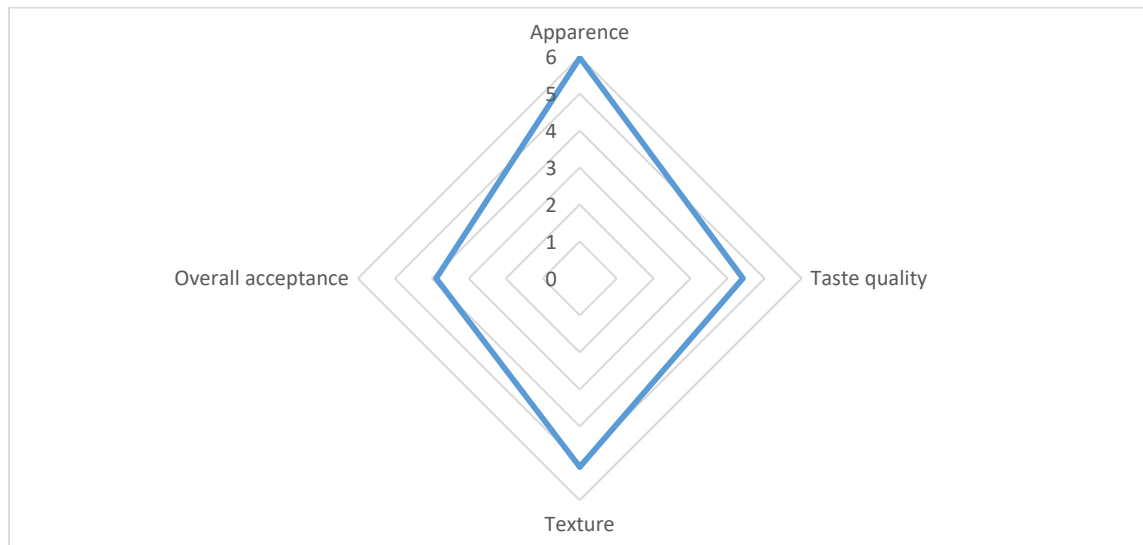
Physicochemical Properties	Kultik Kernel Milk
Sugar ( <sup>0</sup> Brix)	2.23 ± 0.05
pH	5.65 ± 0.03
Titrateable as % of lactic acid	0.14 ± 0.02
Viscosity (cP)	11.82 ± 0.72
TPC (mg GAE L <sup>-1</sup> )	7.85 ± 0.72
DPPH (mg Trolox L <sup>-1</sup> )	1.1 ± 0.03
L	22.79 ± 0.72
a	-0.14 ± 0.07
b	2.45 ± 0.26
WI	22.75 ± 0.73

Mean value ± standard error (n=3). Results are mean values of triplicate measurements.

Apparent viscosity is an important parameter in assessing plant-based milks. The lower the viscosity of a fluid, the lower the heat loss throughout the flow, reducing the costs of power and the production process [15]. The apparent viscosity of kultik kernel milk is lower than that of oat milk, rice milk, and cow's milk [6, 14, 16], indicating the production of the milk can be made at a lower price among plant-based milk varieties. The viscosity of plant-based milks mainly depends on the amount of water used throughout the extraction process [3]. Moreover, the character, similar to that of dairy milk, enables the application of production for the milk sample in existing equipment and processes, allowing large-scale production of the sample in the market [7]. There was a non-linear relationship between the share rate and the share stress, and as the share rate increased, the apparent viscosity of the sample decreased, demonstrating the rheological behavior of non-Newtonian fluids with pseudoplastic character. This result confirms the findings of previous studies that reported the same behavior for other plant-based milks, including Brazil nut, Macadamia, and Bengal rice [14, 15].



There is a need to find a solution, particularly for people suffering from specific clinical conditions, including allergies or intolerances to cow's milk proteins and carbohydrates. Plant-based milks are accepted as a good alternative to dairy milk and are often sold close to dairy milks in stores. They are deemed healthier and more sustainable products than dairy milk [18]. The result of this study gives information as to the milk produced from kultik kernel, which is considered food waste and has caused serious environmental problems.



**Figure 1.** Sensory evaluation of kultik kernel milk.

### 3.3. Sensory evaluation

The sensory evaluation of the milk sample is demonstrated in Figure 1. The highest score among sensory attributes was appearance, which was  $5.97 \pm 0.53$ . The taste quality and texture of the sample were  $4.41 \pm 1.16$  and  $5.1 \pm 1.01$  respectively. Overall acceptance was quite low ( $3.88 \pm 0.80$ ). The addition of sugar and flavour can enhance the sensory characteristics of plant-based milks [7].

## 4. Conclusion

This study proves that kultik kernel milk is rich in nutritional content and has sufficient proximate content and physicochemical properties that partially make the milk possible as an alternative to dairy milk. Proximate composition showed the milk sample may not be suitable for production of fermented dairy products due to its low protein content. The flow character of the milk was the same as that of dairy milk, providing an opportunity to use current equipment and processes in large-scale production for the vegetative market. All in all, the result, which has yet to have a place on the market

with a local production, can attract the attention of manufacturers who want a position in the vegan food market. It is therefore suggested that the milk from Kultik kernel was encouraged to decrease the cost of dairy milk, especially in rural areas, and to enable those suffering from lactose-intolerance problems to receive the necessary nutrition for their lives.

**Declarations**

**Ethical Approval** Not applicable

**Competing interests** The author declare no competing interests.

**Authors' contributions** Not applicable

**Funding** Not applicable

**Availability of data and materials** Data will be made available on reasonable request.

**References**

- [1] Adedokun II, Okorie SU, Batu B. Evaluation of proximate, fibre qualities and consumer acceptability of bambaranut-tigernut-coconut milk beverage blends. *International Journal of Nutrition and Food Sciences*, 2014; 3(5); 30-437. 10.11648/j.ijnfs.20140305.20.
- [2] Uruc K, Tekin A, Sahingil D, Hayaloglu AA. An alternative plant-based fermented milk with kefir culture using apricot (*Prunus ameniaca* L.) seed extract: Changes in texture, volatiles and bioactivity during storage. *Innovative food science and emerging technologies*, 2022; 82; 103189. 10.1016/j.ifset.2022.103189.
- [3] Alozie YE, Udofia US. Nutritional and sensory properties of almond (*Prunus amygdalu* Var. *Dulcis*) seed milk. *World journal of dairy and food sciences*, 2015; 10(2); 117-121. 10.5829/idosi.wjdfs.2015.10.2.9622.
- [4] Akusu OM, Emelike NJT. Physicochemical and organoleptic properties of flavored vegetable milk drinks made from tiger nuts (*Cyperus esculentus*) and Coconuts (*Cocos nucifera*) milk blends. *International Journal of Food Science and Nutrition*, 2018; 3(2); 05-11. 10.11648/j.ijfsb.20190401.11.
- [5] Kuru C, Tontul I. Optimisation of plant-based milk formulation using hazelnut, sunflower seed and pumpkin seed by mixture design. *Turkish journal of agriculture- Food science and technolog*, 2020; 8(11); 2441-2448. 10.24925/turjaf.v8i11.2441-2448.3726.
- [6] Deswal A, Deora NS, Mishra HN. Effect of concentration and temperature on the rheological properties of oat milk. *Food and bioprocess technology*, 2013; 7(8); 2451-2459. 10.1007/s11947-014-1332-8.

- [7] Tamuno ENJ, Monday AO. Physicochemical, mineral and sensory characteristics of cashew nut milk. *International journal of food science and biotechnology*, 2019; 4(1); 1-6. 10.11648/j.ijfsb.20190401.11.
- [8] Deshpande RP, Chinnan MS, McWatters KH. Optimization of a chocolate-flavored, peanut–soy beverage using response surface methodology (RSM) as applied to consumer acceptability data. *LWT*, 2008; 41; 1485-1492. 10.1016/j.lwt.2007.08.013.
- [9] Mei J, Feng F, Li Y. Effective of different homogeneous methods on physicochemical, textural and sensory characteristics of soybean (*Glycine max* L.) yogurt. *CyTA-J. Food*, 2017; 15; 21–26. 10.1080/19476337.2016.1197315
- [10] Rehman S, Hussain S, Nawaz H, Ahmad M, Huma N, Virk WA. Preparation and quality evaluation of Lathyrussativus L. Bovine milk blend. *Pakistan Journal of Nutrition*, 2007; 6(2); 134-137. 10.3923/pjn.2007.134.137.
- [11] Reyes JF, Soto-Reyes N, Dávila-Rodríguez M, Lorenzo-Lea AC, Jiménez-Munguía MT, Mani-López E, Lopez-Malo A. Plant-Based Milk Alternatives: Types, Processes, Benefits, and Characteristics. *Food Reviews International*, 2021; 1-32. 10.1080/87559129.2021.1952421.
- [12] Smith NW, Dave AC, Hill JP, McNabb WC. Nutritional assessment of plant-based beverages in comparison to bovine milk. *Frontiers in nutrition*, 2022; 9; 957486. 10.3389/fnut.2022.957486.
- [13] Jemaa MB, Gamra R, Falleh H, Ksouri R, Beji RS. Plant-based milk alternative: nutritional profiling, physical characterization and sensorial assessment. *Curr. Perspectives on medicinal and aromatic plants*, 2021; 4(2); 108-120. 10.38093/cupmap.1037118.
- [14] Lee Y, Dias-Morse PN, Meullenet JF. Effect of rice variety and milling fraction on the starch gelatinization and rheological properties of rice milk. *Food Science and Technology*, 2019; 39(4); 1047-1051. 10.1590/fst.17118.
- [15] Silva K, Machado A, Cardoso C, Silva F, Freitas F. Rheological behavior of plant-based beverages. *Food science and technology*, 2019; 40(1); 258-263. 10.1590/fst.09219.
- [16] Kumbar V, Nedomova S. Viscosity and analytical differences between raw milk and UHT milk of Czech cows. *Scientia agriculturae bohemica*, 2015; 46(2); 78-83. 10.1515/sab-2015-0020.
- [17] Sik B, Buzas H, Kapcsandi V, Lakatos E, Daroczi F, Rita S. Antioxidant and polyphenol content of different milk and dairy products. *Journal of king saud university-Science*, 2023; 35(7); 102839. 10.1016/j.jksus.2023.102839.
- [18] Aydar EF, Tutuncu S, Ozcelik B. Plant- based milk substitutes: Bioactive compounds, conventional and novel processes, bioavailability studies, and health effects. *Journal of Functional Foods*, 2020; 70; 103975. 10.1016/j.jff.2020.103975.
- [19] Kookal SK, Thimmaiah A. Nutritional composition of staple food bananas of three cultivars in India. *American journal of plant sciences*, 2018; 9(12); 2480-2493. 10.4236/ajps.2018.912179.

- [20] Olagunju AI, Oyewumi DM. Physicochemical properties and antioxidant activity of novel plant milk beverage developed from extracts of tiger nut, cashew nut and coconut. *Applied tropical agriculture*, 2019; 24(1). 170-176.
- [21] Alyaquobi S, Abdullah A, Samudi M, Abdullah N, Addai ZR, Musa KH. Study of antioxidant activity and physicochemical properties of coconut milk (Patisantan) in Malaysia. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 2015; 7(4); 967-973.
- [22] Braunsberger K, Flamm RO. The Case of the Ethical Vegan: Motivations Matter When Researching Dietary and Lifestyle Choices *J. Manag. Issues*, 2019; 31(3); 228-222.
- [23] Omole JO, Ighodaro OM. Proximate composition and quality attributes of milk substitute from melon seeds (*Citrulus vulgaris* schrad). *Rep. Opinion*, 2012; 4(9); 75-78.
- [24] Chima OA, Abuajah CI, Utuk RA. Tiger nut milk: a nutritious under-utilized food ingredient. *Food Biology*, 2013; 2(2); 14-17.
- [25] Ertan K, Bayana D, Gokce O, Alatossava T, Yılmaz Y, Gursoy O. Total antioxidant capacity and phenolic content of pasteurized and UHT-treated cow milk samples marketed in Turkey. *Akademik Gıda*, 2017; 15(2); 103-108. 10.24323/akademik-gida.333630.
- [26] Zhu H, Chen Z, Li G, Yao X, Hu Y, Zhao W. Physicochemical, sensory, and antioxidant characteristics of stirred-type yogurt enriched with *Lentinula edodes* stipe powder. *Food science and nutrition*, 2023. 10.1002/fsn3.3563.
- [27] Ibrahim O, Glibowski P, Nour M, El-Hofi M, el-Ranboly E, Nabil A. Effect of rosemary transglutaminase on yoghurt fortified with whey protein isolate. *Pol. J. Food Nutr. Sci.*, 2017; 67(4); 265-274. 10.1515/pjfn-2016-0020.
- [28] Dermiki M, Mounayar R, Suwankanit C, Scott J, Kennedy OB, Mottram DS, Gosney MA, Blumenthal H, Methven L. Maximising umami taste in meat using natural ingredients: effects on chemistry, sensory perception and hedonic liking in young and old consumers. *Journal of the science of food and agriculture*, 2013; 93(13); 3312-3321. 10.1002/jsfa.6177.
- [29] Usta GB, Yılmaz EL, Sahin S. Optimization of formulation and process conditions of chestnut-based functional beverage using response surface methodology. *J Food Sci Technol.*, 2022; 59(8); 3210-3219. 10.1007/s13197-022-05475-4.

## TIBBİ ATIK BERTARAF TEKNİKLERİNİN SIFIR ATIK YAKLAŞIMI KAPSAMINDA DEĞERLENDİRİLMESİNE YÖNELİK ÇKKV MODEL ÖNERİSİ VE ÇÖZÜMÜ

G.Nilay YÜCENUR<sup>1\*</sup>, Tuba TURAN BAYRAM<sup>2</sup>, Melisa KOÇ<sup>3</sup>, Beyza SAĞIR<sup>4</sup>, Kübra YILDIRIM<sup>5</sup>

<sup>1</sup>İstanbul Beykent Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 34398, Türkiye

<sup>2</sup>Türkiye Cumhuriyeti Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı İstanbul İl Müdürlüğü, İstanbul, 34746, Türkiye

Geliş Tarihi/Received Date: 25.10.2023 Kabul Tarihi/Accepted Date: 13.02.2024 DOI: 10.54365/adyumbd.1381229

### ÖZET

Bu çalışma, içerisinde çeşitli virüs, bakteri, mikroorganizma barındıran, hem çevre hem de insan sağlığına olumsuz etkileri olan tıbbi atıkların bertaraf tekniklerinin değerlendirilmesi amacıyla yapılmıştır. Çalışma kapsamında tıbbi atıklar ve bertaraf tekniklerinden oluşan çok kriterli bir karar verme modeli önerilmiş ve bu model iki aşamalı bir metodoloji ile çözülmüştür. Çözümün ilk aşamasında ENTROPİ yöntemi ile tıbbi atıklar önceliklendirilmiş, ikinci aşamada ise WASPAS ve EDAS yöntemleri ile alternatif bertaraf teknikleri değerlendirilmiştir. ENTROPİ yöntemine göre sağlık kurumlarında işlemler sonucunda oluşan en önemli tıbbi atıkların 0,1751 önem ağırlığı ile Radyoaktif atıklar olduğu tespit edilmiştir. Bu tıbbi atığı sırasıyla 0,1478 ve 0,1408 önem ağırlıklarıyla Amalgam atıklar ve Kimyasal atıklar takip etmiştir. Bu bulgular sonrasında WASPAS ve EDAS yöntemleri ile alternatif bertaraf teknikleri değerlendirilmiştir. WASPAS yöntemi sonuçlarına göre önerilen modelde tıbbi atıkların bertarafı için en uygun tekniğin 0,7761 bağıl önem değeri ile Mekanik işlemler tekniği olduğu bulunmuştur. Bu alternatif tekniği sırasıyla İrridasyon yöntemleri ve Sterilizasyon teknikleri izlemiştir. Ayrıca EDAS yöntemi sonuçlarına göre de 0,9328 değeriyle en uygun bertaraf tekniğinin mekanik işlemler tekniği olduğu belirlenmiştir. Her iki yöntemle elde edilen araştırma sonuçlarına göre tıbbi atık bertaraf tekniklerinin sıralanması aynı olarak elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Atık yönetimi, Tıbbi Atık, ÇKKV, Entropi, WASPAS, EDAS

## MCDM MODEL PROPOSAL AND SOLUTION FOR EVALUATION OF MEDICAL WASTE DISPOSAL TECHNIQUES WITHIN THE SCOPE OF ZERO WASTE APPROACH

### ABSTRACT

This study is carried out in order to evaluate the disposal techniques of medical wastes, which contain various viruses, bacteria, microorganisms and have negative effects on both the environment and human health. Within the scope of the study, a multi-criteria decision-making model consisting of medical wastes and disposal techniques have been proposed and this model has been solved with a two-stage methodology. In the first stage of the solution, medical wastes have been prioritized with the ENTROPY method, and in the second stage alternative disposal techniques have been evaluated with the WASPAS and EDAS methods. According to ENTROPY method, it was found that the most important medical waste generated as a result of the processes in health institutions was Radioactive waste with an importance weight of 0.1751. This medical waste was followed by Amalgam waste and Chemical waste medical wastes with the importance weights of 0.1478 and 0.1408, respectively. After these findings, alternative disposal techniques have been evaluated with the WASPAS and EDAS methods. According to WASPAS method results the Mechanical operations technique was found to be the most appropriate technique for the disposal of medical wastes in the proposed model with 0.7761 relative importance value. This alternative technique was followed by Irridation methods and Sterilization techniques, respectively. In addition, according to the results of the EDAS method, it was determined that the mechanical processes technique was the most suitable disposal technique with a value of 0.9328. According to the research results obtained with both methods, the ranking of medical waste disposal techniques was obtained as the same.

**Keywords:** K Waste management, Medical Waste, MCDM, Entropy, WASPAS, EDAS

\* e-posta<sup>1</sup> : [nilayyucenur@beykent.edu.tr](mailto:nilayyucenur@beykent.edu.tr) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2670-6277> (Sorumlu Yazar)

e-posta<sup>2</sup> : [tuba.bayram@csb.gov.tr](mailto:tuba.bayram@csb.gov.tr) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3282-7099>

e-posta<sup>3</sup> : [kocmelisa621@gmail.com](mailto:kocmelisa621@gmail.com) ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0005-2042-2723>

e-posta<sup>4</sup> : [beyzasagsagir@outlook.com](mailto:beyzasagsagir@outlook.com) ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-0288-0783>

e-posta<sup>5</sup> : [kubrayildirim212@outlook.com](mailto:kubrayildirim212@outlook.com) ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-5912-0635>

## 1. Introduction

People benefit from the resources offered by nature to provide their vital activities. While these resources can be renewed by nature's own balance, the unconscious and excessive use of people disrupts this balance, and as a result, difficult or even impossible situations arise for both people and nature. In addition, the amount of waste is increasing day by day as a result of reasons such as increasing population in the world, changing consumption habits, increasing immigration to cities due to attractive living conditions in the city, industrialization and natural disasters [1]. These wastes must be managed with a sustainable and applicable waste plan.

Improper waste management creates problems and hazards for humans, animals, environment and threatens health [2]. In order to prevent all these hazards, it is necessary to take the necessary steps of waste management and adopt a zero waste approach. The zero waste approach aims to reduce and eliminate the waste at its source by reviewing the causes of its formation [3]. Implementing a properly functioning waste management within the framework of the zero waste approach will contribute to the improvement of people's quality of life and to live in a peaceful and healthy environment [4-5].

In this study, it was aimed to evaluate the disposal techniques of medical wastes under the zero waste management approach, and for this purpose, a multi-criteria decision-making (MCDM) model was established. Entropy, WASPAS and Evaluation based on distance from average solution (EDAS) methods were used to solve the model and compare alternative disposal techniques, respectively.

When the literature studies are examined, it is possible to come across a few studies on the evaluation of health waste disposal techniques. For example, Menekşe and Akdağ (2023) made medical waste disposal planning for healthcare units using spherical fuzzy CRITIC-WASPAS. In this research, five alternative disposal techniques (Incineration, electromagnetic wave sterilization, landfill, encapsulation, chemical disinfection) were evaluated according to eight criteria (Human resource requirement, treatment efficiency, health effects, reliability, treatment system capacity, annual operating cost, infrastructure requirement, waste residuals) [6]. Mishra et al. (2020) assessed healthcare waste disposal technologies using new parametric divergence measure [7]. In this research four disposal techniques (Landfill disposal, steam sterilization, incineration, microwave) were evaluated according to six criteria (Public acceptance, treatment effectiveness, reliability, release with health effects, waste residuals, cost) with EDAS method. Ju et al. (2020) used a new framework for health-care waste disposal alternatives selection with multi granular linguistic distribution assessment and EDAS method [8]. In this research, four disposal techniques (Chemical disinfection, electromagnetic wave sterilization and sanitary landfill, pressure steam sterilization, pyrolysis incineration at high temperature) were evaluated according to six criteria (Advancement of processing technology, treatment effectiveness, health effects of emissions, waste residuals, processing cost, public attitude). Liu et al. (2013) assessed of health-care waste disposal methods using a VIKOR-based fuzzy MCDM method [9]. In this research four alternative disposal techniques (Landfill, microwave, steam sterilization, incineration) were evaluated according to six criteria (Public acceptance, treatment effectiveness, reliability, release with health effects, waste residuals, cost). Dursun et al. (2011) used a fuzzy multi criteria group decision making framework for evaluating health-care waste disposal alternatives [10]. In this research four alternative disposal techniques (Landfill disposal, microwave, steam sterilization, incineration) were evaluated according to four main criteria (Social, technical, environmental, economic).

On the other hand, when a literature research is made in terms of the techniques used in the study, it is seen that the three techniques used in this study are not included at the same time in any research, but they are applied to various sector problems with various combinations. For example, there are some researches that used Entropy and EDAS methods. Singh et al. (2023) optimized the tribological properties of natural fiber reinforced brake friction composite materials [11]. Anilkumar et al. (2021) selected the phase change material for solar box cooker integrated with thermal energy storage unit [12]. Yazdani et al. (2020) evaluated renewable energy resources [13]. Ghafari et al. (2020) investigated the

ecological potentials of trees, shrubs and hedge species for urban green spaces [14]. Furthermore, there are some researches that used Entropy and WASPAS methods together. For example, He et al. (2023) investigated the challenges of IoT-based applications in high-risk environments, health and safety industries in the Industry 4.0 era, Akgün et al. (2023) selected the carbon-based nanomaterials in phase change materials, Devenci et al. (2022) selected aircraft type, Vaid et al. (2022) made a case study of Silent Genset, Ali et al. (2021) applied these methods for decision making under uncertain evaluations, Zhu et al. (2021) evaluated road safety performance of Chinese provinces [15-20].

As a result of the literature research, it is clear that this study will contribute to the literature with both the MCDM model it proposes and the MCDM solution techniques used in this field. This study, in which the importance of medical wastes is obtained and the techniques that can be used in the disposal of these wastes are evaluated, will guide future studies and professionals interested in the subject.

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

## 2. Medical Waste Concept

Healthcare facilities play a crucial role in society, providing essential services for the well-being of individuals. However, the generation of health waste is an unavoidable consequence of medical activities.

The concept of waste can be defined as substances that must be disposed of as a result of production, consumption and some activities carried out by institutions, organizations, factories or individuals during their daily lives, and are undesirable and obligatory. While wastes occur in areas where many activities such as health, education, industry, economy, and cultural activities are carried out in daily life, their harmful effects can be minimized by ensuring their disposal and recycling with appropriate technologies [21-22].

Medical wastes are biological and hazardous wastes. These wastes are formed as a result of the activities of various health institutions. If they are not released into the environment in accordance with regulations due to the microorganisms, bacteria and viruses they contain, they pose a serious danger to the environment and human health.

Medical wastes interact directly or indirectly with humans and the environment from the moment they are formed to their disposal. They negatively affect human and environmental health either directly due to the disease-causing and infectious substances they contain, or indirectly because they are a source of nutrition and reproduction for living things such as flies and mice.

Medical wastes have many negative effects on people and the environment, such as diseases such as plague, cholera, malaria, rabies that can be transmitted directly or indirectly, water and gases leaking from landfills, and random waste [23]. These negative effects can be eliminated with proper medical waste management.

### 2.1 Medical waste management

The aim of the medical waste management is to dispose of medical wastes resulting from the processes carried out in health institutions with minimum cost by minimizing the negative effects in

terms of human and environmental health. It is important to implement a good waste management plan in healthcare institutions, as an unsafe medical waste management can lead to disability and death.

Health waste encompasses a wide range of materials, including sharps, pharmaceuticals, laboratory specimens, and contaminated equipment. Such waste poses significant health risks if not handled and disposed of properly. Improper disposal can lead to the spread of infectious diseases, environmental contamination, and harm to wildlife. By ensuring the appropriate management of health waste, potential threats that pose to individuals, healthcare workers, and the general population can be minimized.

Proper disposal of health waste is crucial for preventing the transmission of infectious diseases. Sharps, such as needles and syringes, if not disposed of correctly, can cause injuries and act as a medium for the transmission of bloodborne pathogens [24]. Similarly, contaminated laboratory specimens and biological samples must be handled with care to prevent accidental exposure. By adhering to strict protocols for waste segregation, packaging, and disposal, healthcare facilities can significantly reduce the risk of infections among patients, staff, and the community at large [6].

The significance of proper health waste disposal extends beyond human health. Inappropriate management of biomedical waste can have adverse effects on the environment. Some pharmaceutical compounds, when discarded incorrectly, may contaminate water sources or soil, affecting ecosystems and potentially leading to the development of drug-resistant organisms [25-26]. By implementing safe disposal methods, such as incineration, autoclaving, or chemical treatment, healthcare facilities can mitigate the environmental impact of health waste, safeguarding ecological balance and biodiversity.

Health institutions cannot dispose of their own medical waste. Medical waste can only be disposed of at officially authorized facilities. Appropriately, collected medical wastes are transported by authorized personnel and vehicles and brought to the relevant disposal facilities. Various methods are applied for the disposal of medical wastes in these facilities.

### **3. MCDM Model Proposal and Solution for Medical Waste Minimization in Healthcare Institutions**

It is very important to dispose of medical wastes in order to prevent the harm they may cause to humans and the environment due to their biological, chemical and physical characteristics. Appropriate disposal of medical wastes comes first in field applications for the purpose of ensuring occupational safety and protecting employee health in order to prevent occupational accidents and occupational diseases arising from medical waste in health institutions.

Medical wastes, which contain microorganisms showing infectious disease characteristics and pose many dangers, cause epidemics, disability and even death if they are not disposed of or if appropriate disposal methods are not used for disposal. These hazards caused by medical wastes can occur through direct contact, pollution of the environment or water resources, and air transport. In order not to encounter the harms of medical wastes, they should be handled with great care and must be collected with suitable garbage bags and disposed of with appropriate methods.

#### **3.1 Purpose of research**

In this study, it is aimed to evaluate the techniques used in the elimination of wastes originating from health institutions, which are very dangerous for human and environmental health, and to list the appropriate disposal methods. In addition, in order to achieve this goal, it is aimed to guide the comprehensive evaluations to be made for health institutions by considering the idea of zero waste.



### 3.2. Proposed research model

In the processes carried out in the health sector, many wastes that have quite different characteristics and are effective on human and environmental health are generated. These wastes must be disposed with appropriate techniques in order to eliminate the harmful effects they have on the world.

While the correct disposal of medical wastes has great importance, the disposal methods used in the meantime also carry various risks. For example; if the wastes will be disposed of by incineration, a suitable gas control system should be used in order to prevent the gases emitted from the incinerators to cause problems, or if the burial method is to be used, the area to be buried should be at a certain distance from the living areas and water channels. Otherwise, it is possible for the living creatures and living in the close environment to be poisoned and to catch infectious diseases.

In order to avoid these and similar problems, the research criteria and alternatives that constitute the research model of this study, which was carried out to evaluate the techniques that can be used in the disposal of medical wastes, are listed and explained below. According to the literature review there is no research that recognized waste types as criteria to evaluating disposal techniques. Because of this innovation this research is differ from the previous ones.

**RESEARCH CRITERIA:** The medical wastes have been accepted as criteria in the research model in the MCDM structure.

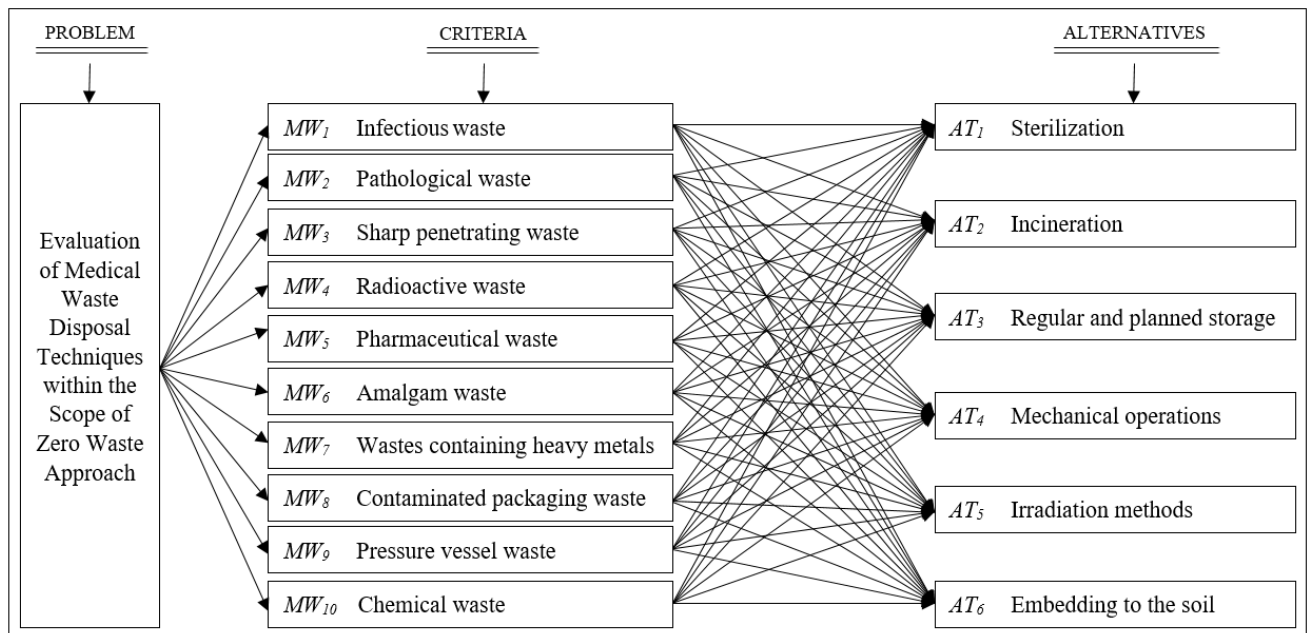
- Infectious waste ( $MW_1$ ): It is the waste formed by all materials that can be infected, such as surgical materials, dialysis wastes.
- Pathological waste ( $MW_2$ ): It is the waste formed by body parts, tissues or organs that originate from the operating room or morgue.
- Sharp penetrating waste ( $MW_3$ ): It is the waste that has the danger of cutting and drilling and can cause injury as a result.
- Radioactive waste ( $MW_4$ ): It is the waste generated as a result of radiation therapy or laboratory procedures in health institutions.
- Pharmaceutical waste ( $MW_5$ ): It is the waste such as unused drug or vaccine.
- Amalgam waste ( $MW_6$ ): It is the waste that occurs in the dental department of health institutions.
- Wastes containing heavy metals ( $MW_7$ ): It is the waste that consisting of heavy metal powders or paints containing heavy metals.
- Contaminated packaging waste ( $MW_8$ ): It is the waste that is created by the materials or packaging used in the outer coating of hazardous wastes.
- Pressure vessel waste ( $MW_9$ ): Pressure vessels, which are widely used in the health sector, are containers that contain toxic gases.
- Chemical waste ( $MW_{10}$ ): It is the waste that arises from the gases used in health institutions for sterilization of medical equipment or for anesthesia.

**RESEARCH ALTERNATIVES:** The disposal techniques that will eliminate health wastes have been accepted as alternatives in the research model in the MCDM structure.

- Sterilization ( $AT_1$ ): It is the process of exposing the wastes to high pressure steam and heat in order to render the medical wastes harmless [6-9; 24].
- Incineration ( $AT_2$ ): It is the process of incineration of hazardous medical wastes in official authorized facilities [7-9; 24].

- Regular and planned storage ( $AT_3$ ): It is the procedure of accumulating wastes before they undergo any process such as recycling and disposal [24].
- Mechanical operations ( $AT_4$ ): It is the process of separating wastes according to their physical properties and ensuring their recycling and recovery.
- Irradiation methods ( $AT_5$ ): It is the process of breaking down medical wastes with high energy of electron [24].
- Embedding to the soil ( $AT_6$ ): It is the process of disposing of medical wastes by burying them in a suitable waste pit [6-9; 24].

The MCDM model, which consists of 10 criteria and 6 alternatives proposed within the scope of this study, is shown in Fig. 1.



**Figure 1.** The proposed research model with 10 criteria and 6 alternatives

### 3.3. A two-stage solution for the research problem

A two-stage solution methodology has been proposed for the solution of the problem discussed in this study, and the proposed MCDM model has been solved in two stages with MCDM techniques.

In the first stage of the solution, the Entropy method has been used to find the importance weights of the criteria, that is health wastes, that make up the model. After the Entropy method, which measures the amount of useful information provided by the existing data set and finds objective results, alternative medical waste disposal techniques have been evaluated by using WASPAS and EDAS methods in the second stage of the solution, and they have been ranked. With this last stage of the solution, the results and rankings obtained with these two techniques have been compared.

Since the entropy method is a suitable scale to be used to evaluate different decision-making processes, it was used to determine the weights in this study. In addition, the method is very useful because it uses the initial matrix to obtain the criterion weights and there is no need to evaluate the criteria.

WASPAS method was developed as a combination of Weighted Sum Model and Weighted Product Model. WASPAS was preferred in the solution phase of this study because it is an MCDM method based on accuracy by using these two methods together, and the aim of the method is to increase the ranking accuracy of alternative techniques.

The EDAS method was used in this study because it is very effective in decision-making problems with some conflicting criteria. In this method, the best alternative is determined according to its distance from the average solution. Therefore, there is no need to calculate the ideal and rare solution in the EDAS method.

Fig. 2 shows the flowchart of the proposed two-stage solution methodology.

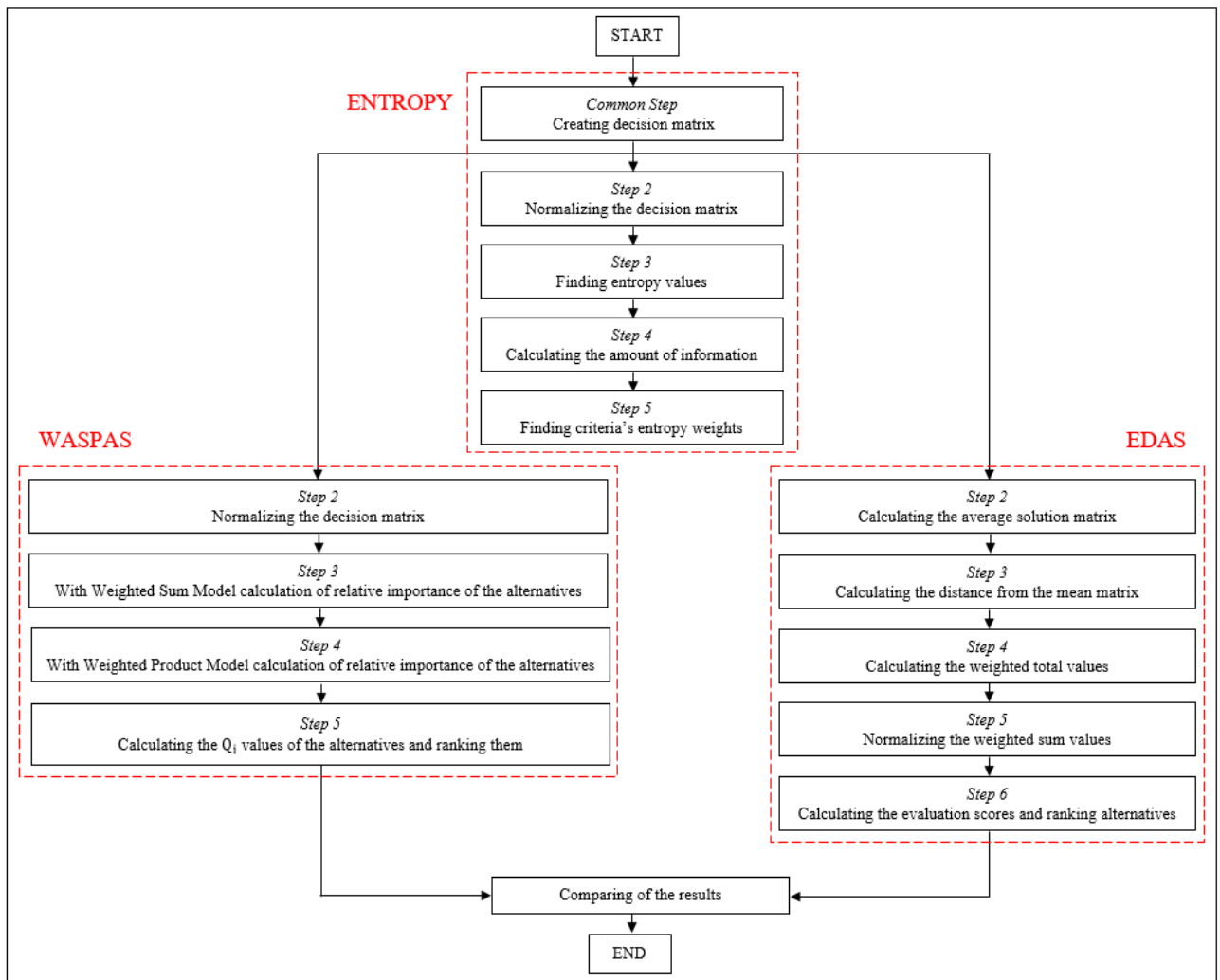


Figure 2. The flowchart of the proposed two-stage solution methodology

### 3.3.1 Determining of medical wastes importance weights with ENTROPY method

Entropy is one of the objective criteria weighting methods used in MCDM techniques. The concept, formulated according to probability theory, is defined as a measure of uncertainty in information theory. The higher differences between the performances of the alternatives according to any criterion  $j$ , the smaller entropy, that is, the less uncertainty. This shows that the relevant criterion

contains more information and becomes important in decision making. In other words, the smaller entropy value, the greater the discriminating power of the criterion to the alternatives [13; 17].

Calculation of criterion weights with the entropy method includes the following steps [17-18]:

*Step 1 Creating decision matrix:* A  $m \times n$  dimensional  $X = [x_{ij}]_{m \times n}$  decision matrix consisting of  $m$  alternatives and  $n$  criteria is created as shown in Eq. (1). Here,  $x_{ij}$  is the performance value of alternative  $i$  for criterion  $j$ .

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad i = 1, 2, \dots, m \text{ and } j = 1, 2, \dots, n \tag{1}$$

The initial decision matrix of the MCDM model, which consists of 10 criteria and 6 alternatives proposed within the scope of this study, is shown in Table 1.

The decision matrix is created by taking the average of the evaluations made by a group of experts who are health professionals and managers. There are 8 experts for making the evaluations. While 3 of the experts who made the evaluation are managers in health institutions, 3 of them are experienced experts in recycling, zero waste and disposal techniques (These experts are public employees and made their evaluations within the framework of the legislation, not based on their personal judgment), and 2 of them are academicians related to the subject.

Experts involved in the evaluation phase of the study were asked to evaluate alternative techniques that could be used to eliminate medical waste included in the proposed MCDM model. In this evaluation, experts used a scale ranging from 0 to 100. According to this scale, if the alternative waste disposal technique is more effective in eliminating the relevant criterion, it is evaluated with a higher score.

In this table *MV* shows medical wastes and *AT* shows alternative waste disposal techniques.

**Table 1.** Initial decision matrix.

	<i>MW</i> <sub>1</sub>	<i>MW</i> <sub>2</sub>	<i>MW</i> <sub>3</sub>	<i>MW</i> <sub>4</sub>	<i>MW</i> <sub>5</sub>	<i>MW</i> <sub>6</sub>	<i>MW</i> <sub>7</sub>	<i>MW</i> <sub>8</sub>	<i>MW</i> <sub>9</sub>	<i>MW</i> <sub>10</sub>
<i>AT</i> <sub>1</sub>	95.0	30.0	85.0	10.0	30.0	80.0	15.0	40.0	80.0	25.0
<i>AT</i> <sub>2</sub>	45.0	70.0	20.0	5.0	15.0	20.0	50.0	85.0	5.0	5.0
<i>AT</i> <sub>3</sub>	5.0	10.0	70.0	15.0	55.0	10.0	10.0	5.0	65.0	10.0
<i>AT</i> <sub>4</sub>	30.0	40.0	75.0	100.0	70.0	90.0	95.0	50.0	30.0	85.0
<i>AT</i> <sub>5</sub>	70.0	60.0	25.0	20.0	60.0	25.0	60.0	10.0	100.0	55.0
<i>AT</i> <sub>6</sub>	80.0	90.0	100.0	30.0	40.0	5.0	5.0	60.0	55.0	15.0

*Step 2 Normalizing the decision matrix:* The decision matrix  $X$  is normalized in order to convert the criteria values to the common unit. The  $p_{ij}$  normalized values of alternative  $i$  according to criterion  $j$  are calculated with Eq. (2).

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad 1 \leq i \leq m \text{ and } 1 \leq j \leq n \tag{2}$$

Table 2 shows the normalized version of the initial decision matrix created for the research problem.

**Table 2.** Normalized decision matrix.

	$MW_1$	$MW_2$	$MW_3$	$MW_4$	$MW_5$	$MW_6$	$MW_7$	$MW_8$	$MW_9$	$MW_{10}$
$AT_1$	0.2923	0.1000	0.2267	0.0556	0.1111	0.3478	0.0638	0.1600	0.2388	0.1282
$AT_2$	0.1385	0.2333	0.0533	0.0278	0.0556	0.0870	0.2128	0.3400	0.0149	0.0256
$AT_3$	0.0154	0.0333	0.1867	0.0833	0.2037	0.0435	0.0426	0.0200	0.1940	0.0513
$AT_4$	0.0923	0.1333	0.2000	0.5556	0.2593	0.3913	0.4043	0.2000	0.0896	0.4359
$AT_5$	0.2154	0.2000	0.0667	0.1111	0.2222	0.1087	0.2553	0.0400	0.2985	0.2821
$AT_6$	0.2462	0.3000	0.2667	0.1667	0.1481	0.0217	0.0213	0.2400	0.1642	0.0769

*Step 3 Finding entropy values:* By using normalized  $p_{ij}$  values, the entropy value ( $e_j$ ) of each  $j$  criterion, that is, the uncertainty measure, is obtained by Eq. (3).

$$e_j = -K \sum_{i=1}^m (p_{ij} \ln(p_{ij})), \quad K = \frac{1}{\ln(m)} \quad (3)$$

*Step 4 Calculating the amount of information:* The degree of differentiation of information, that is, the amount of information ( $d_j$ ) contained in the criterion, is calculated by Eq. (4).

$$d_j = 1 - e_j \quad (4)$$

*Step 5 Finding criteria's entropy weights:* Using the calculated  $d_j$  values, the entropy weight ( $w_j$ ) of each criterion is obtained by Eq. (5).

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j} \quad (5)$$

Table 3 shows the calculated  $e_j$ ,  $d_j$  and  $w_j$  values for all criteria.

**Table 3.** The calculated  $e_j$ ,  $d_j$  and  $w_j$  values for all criteria.

	$MW_1$	$MW_2$	$MW_3$	$MW_4$	$MW_5$	$MW_6$	$MW_7$	$MW_8$	$MW_9$	$MW_{10}$
$e_j$	0.8891	0.9124	0.9270	0.7459	0.9465	0.7856	0.8013	0.8546	0.8910	0.7957
$d_j$	0.1108	0.0875	0.0729	0.2540	0.0534	0.2143	0.1986	0.1453	0.1089	0.2042
$w_j$	0.0764	0.0603	0.0503	0.1751	0.0368	0.1478	0.1369	0.1001	0.0751	0.1408

According to the values shown in Table 3, it was found that the most important medical waste generated as a result of the processes in health institutions was Radioactive waste ( $MW_4$ ) with an importance weight of 0.1751. This medical waste was followed by Amalgam waste ( $MW_6$ ) and Chemical waste ( $MW_{10}$ ) medical wastes with the importance weights of 0.1478 and 0.1408, respectively. Again according to Table 3, among the 10 medical wastes that make up the proposed MCDM model, the one that has the lowest importance weight, that is, the one that is considered to be the least dangerous, is Pharmaceutical waste ( $MW_5$ ) with a value of 0.0368.

After finding the weights of the medical wastes by the entropy method, the WASPAS method is used to evaluate and rank the alternative waste disposal techniques according to the proposed methodology.

### 3.3.2 Evaluating of research alternatives with WASPAS method

The WASPAS method based on the weighted sum model (WSM) and weighted product model (WPM) was proposed by Zavadskas et al. WASPAS is a decision-making method that allows decision-makers to evaluate alternatives based on multiple criteria. It combines the weighted sum model and the weighted product model to calculate the aggregated scores of alternatives. By incorporating weights and preference functions, WASPAS can provide a comprehensive assessment of different criteria in decision-making processes [19-20].

Evaluation and ranking of alternatives with WASPAS method includes the following steps [17-18]:

*Step 1 Creating decision matrix:* The first steps of the entropy and WASPAS methods are common. Therefore, the initial decision matrix created with Eq. (1) is also used for the WASPAS method.

*Step 2 Normalizing the decision matrix:* According to the WASPAS method, the normalization process is done for the benefit based criteria whose values should be maximized with Eq. (6), and for the cost-based criteria whose values should be minimized with Eq. (7).

$$\check{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max_i(x_{ij})} \quad (6)$$

$$\check{x}_{ij} = \frac{\min_i(x_{ij})}{x_{ij}} \quad (7)$$

Since all medical wastes in this study must be eliminated by waste disposal techniques, all decision criteria are accepted as benefit-based, normalization process is carried out and the normalized decision matrix is shown in Table 4.

**Table 4.** Normalized decision matrix with WASPAS method.

	$MW_1$	$MW_2$	$MW_3$	$MW_4$	$MW_5$	$MW_6$	$MW_7$	$MW_8$	$MW_9$	$MW_{10}$
$w_j$	0.0764	0.0603	0.0503	0.1752	0.0369	0.1478	0.1369	0.1002	0.0751	0.1408
$AT_1$	1.0000	0.3333	0.8500	0.1000	0.4286	0.8889	0.1579	0.4706	0.8000	0.2941
$AT_2$	0.4737	0.7778	0.2000	0.0500	0.2143	0.2222	0.5263	1.0000	0.0500	0.0588
$AT_3$	0.0526	0.1111	0.7000	0.1500	0.7857	0.1111	0.1053	0.0588	0.6500	0.1176
$AT_4$	0.3158	0.4444	0.7500	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.5882	0.3000	1.0000
$AT_5$	0.7368	0.6667	0.2500	0.2000	0.8571	0.2778	0.6316	0.1176	1.0000	0.6471
$AT_6$	0.8421	1.0000	1.0000	0.3000	0.5714	0.0556	0.0526	0.7059	0.5500	0.1765

*Step 3 With Weighted Sum Model calculation of relative importance of the alternatives:* The total relative importance of alternative  $i$  is calculated according to *WSM* with Eq. (8).

$$Q_i^{(1)} = \sum_{j=1}^n \check{x}_{ij} \cdot w_j \quad (8)$$

*Step 4 With Weighted Product Model calculation of relative importance of the alternatives:* The total relative importance of alternative  $i$  is calculated according to *WPM* with Eq. (9).

$$Q_i^{(2)} = \prod_{j=1}^n (\check{x}_{ij})^{w_j} \quad (9)$$

*Step 5 Calculating the  $Q_i$  values of the alternatives and ranking them:* With Eq. (10), the alternatives'  $Q_i$  values are calculated and the alternatives are ranked. The alternative with the largest  $Q_i$  value is the best alternative.

$$Q_i = 0.5 \sum_{j=1}^n \check{x}_{ij} w_j + 0.5 \prod_{j=1}^n (\check{x}_{ij})^{w_j} \quad (10)$$

Table 5 shows the calculated  $Q_i^{(1)}$ ,  $Q_i^{(2)}$  and  $Q_i$  values for all alternatives.

**Table 5.** The calculated  $Q_i^{(1)}$ ,  $Q_i^{(2)}$ ,  $Q_i$  values and the ranking of alternatives.

		$Q_i^{(1)}$	$Q_i^{(2)}$	$Q_i$	Ranking
$AT_1$	Sterilization	0.4743	0.3521	0.4131	3
$AT_2$	Incineration	0.3270	0.1884	0.2577	5
$AT_3$	Regular and planned storage	0.2033	0.1398	0.1716	6
$AT_4$	Mechanical operations	0.8078	0.7445	0.7761	<b>1</b>
$AT_5$	Irradiation methods	0.4813	0.3933	0.4373	2
$AT_6$	Embedding to the soil	0.4009	0.2468	0.3239	4

Considering the values obtained as a result of the WASPAS method according to Table 5, the Mechanical operations ( $AT_4$ ) technique was found to be the most appropriate technique for the disposal of medical wastes in the proposed model. This alternative technique was followed by Irridation methods ( $AT_5$ ) and Sterilization ( $AT_1$ ) techniques, respectively.

After the ranking of the alternatives is found with the WASPAS method, the research problem is solved with the EDAS method this time to analyze the consistency of the results.

### 3.3.3 Evaluating of research alternatives with EDAS method

The EDAS method based on determining the alternative rankings according to the positive and negative distances of each alternative from the ideal alternative was proposed by Ghorabae et al. In the method, the evaluation of alternatives is done by looking at higher values of positive distance and smaller values of negative distance [7].

Evaluation and ranking of alternatives with EDAS method includes the following steps [13]:

*Step 1 Creating decision matrix:* The first steps of the entropy, WASPAS and EDAS methods are common. Therefore, the initial decision matrix created with Eq. (1) is also used for the EDAS method.

*Step 2 Calculating the average solution matrix:* Eq. (11) is used to calculate the average solution matrix by taking the average of all criteria.

$$AV = [AV_j]_{1 \times m} \quad AV_j = \frac{\sum_{i=1}^n x_{ij}}{n} \quad (11)$$

*Step 3 Calculating the distance from the mean matrix:* Positive distance from the mean (PDA) and negative distance from the mean (NDA) values are calculated by Eq. (12) and Eq. (13), respectively.

$$PDA = [PDA_{ij}]_{n \times m} \quad (12)$$

$$NDA = [NDA_{ij}]_{n \times m} \tag{13}$$

If the criteria are benefit-based,  $PDA_{ij}$  and  $NDA_{ij}$  values are calculated with Eq. (14) and Eq. (15).

$$PDA_{ij} = \frac{\max(0, (x_{ij} - AV_j))}{AV_j} \tag{14}$$

$$NDA_{ij} = \frac{\max(0, (AV_j - x_{ij}))}{AV_j} \tag{15}$$

If the criteria are cost-based,  $PDA_{ij}$  and  $NDA_{ij}$  values are calculated with Eq. (16) and Eq. (17).

$$PDA_{ij} = \frac{\max(0, (AV_j - x_{ij}))}{AV_j} \tag{16}$$

$$NDA_{ij} = \frac{\max(0, (x_{ij} - AV_j))}{AV_j} \tag{17}$$

Table 6 and Table 7 show the  $PDA$  and  $NDS$  matrices generated for the research problem.

**Table 6.**  $PDA$  matrix.

	$MW_1$	$MW_2$	$MW_3$	$MW_4$	$MW_5$	$MW_6$	$MW_7$	$MW_8$	$MW_9$	$MW_{10}$
$w_j$	0.0761	0.0603	0.0503	0.1751	0.0369	0.1478	0.1369	0.1002	0.0751	0.1408
$AT_1$	0.7538	0.0000	0.3600	0.0000	0.0000	1.0870	0.0000	0.0000	0.4328	0.0000
$AT_2$	0.0000	0.4000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.2766	1.0400	0.0000	0.0000
$AT_3$	0.0000	0.0000	0.1200	0.0000	0.2222	0.0000	0.0000	0.0000	0.1642	0.0000
$AT_4$	0.0000	0.0000	0.2000	2.3333	0.5556	1.3478	1.4255	0.2000	0.0000	1.6154
$AT_5$	0.2923	0.2000	0.0000	0.0000	0.3333	0.0000	0.5319	0.0000	0.7910	0.6923
$AT_6$	0.4769	0.8000	0.6000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.4400	0.0000	0.0000

**Table 7.**  $NDA$  matrix.

	$MW_1$	$MW_2$	$MW_3$	$MW_4$	$MW_5$	$MW_6$	$MW_7$	$MW_8$	$MW_9$	$MW_{10}$
$w_j$	0.0761	0.0603	0.0503	0.1751	0.0369	0.1478	0.1369	0.1002	0.0751	0.1408
$AT_1$	0.0000	0.4000	0.0000	0.6667	0.3333	0.0000	0.6170	0.0400	0.0000	0.2308
$AT_2$	0.1692	0.0000	0.6800	0.8333	0.6667	0.4783	0.0000	0.0000	0.9104	0.8462
$AT_3$	0.9077	0.8000	0.0000	0.5000	0.0000	0.7391	0.7447	0.8800	0.0000	0.6923
$AT_4$	0.4462	0.2000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.4627	0.0000
$AT_5$	0.0000	0.0000	0.6000	0.3333	0.0000	0.3478	0.0000	0.7600	0.0000	0.0000
$AT_6$	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1111	0.8696	0.8723	0.0000	0.0149	0.5385

*Step 4 Calculating the weighted total values:*  $SP_i$  and  $SN_i$  values, which express the weighted sum of the positive distance from the mean and the negative distance from the mean, are calculated with the help of Eq. (18) and Eq. (19).



$$SP_i = \sum_{j=1}^n w_j \cdot PDA_{ij} \quad (18)$$

$$SN_i = \sum_{j=1}^n w_j \cdot NDA_{ij} \quad (19)$$

*Step 5 Normalizing the weighted sum values:* With the help of Eq. (20) and Eq. (21)  $SP_i$  and  $SN_i$  values are normalized.

$$NSP_i = \frac{SP_i}{\max_i(SP_i)} \quad (20)$$

$$NSN_i = 1 - \frac{SN_i}{\max_i(SN_i)} \quad (21)$$

*Step 6 Calculating the evaluation scores and ranking alternatives:* Based on the  $NSP_i$  and  $NSN_i$  values of each alternative, the evaluation score ( $AS$ ) is calculated by Eq. (22). The alternative with the largest  $AS$  value is the best alternative.

$$AS_i = \frac{1}{2} (NSP_i + NSN_i) \quad (22)$$

Table 8 shows the calculated  $SP_i$ ,  $SN_i$ ,  $NSP_i$ ,  $NSN_i$  and  $AS_i$  values for all alternatives.

**Table 8.** The calculated  $SP_i$ ,  $SN_i$ ,  $NSP_i$ ,  $NSN_i$ ,  $AS_i$  values and the ranking of alternatives.

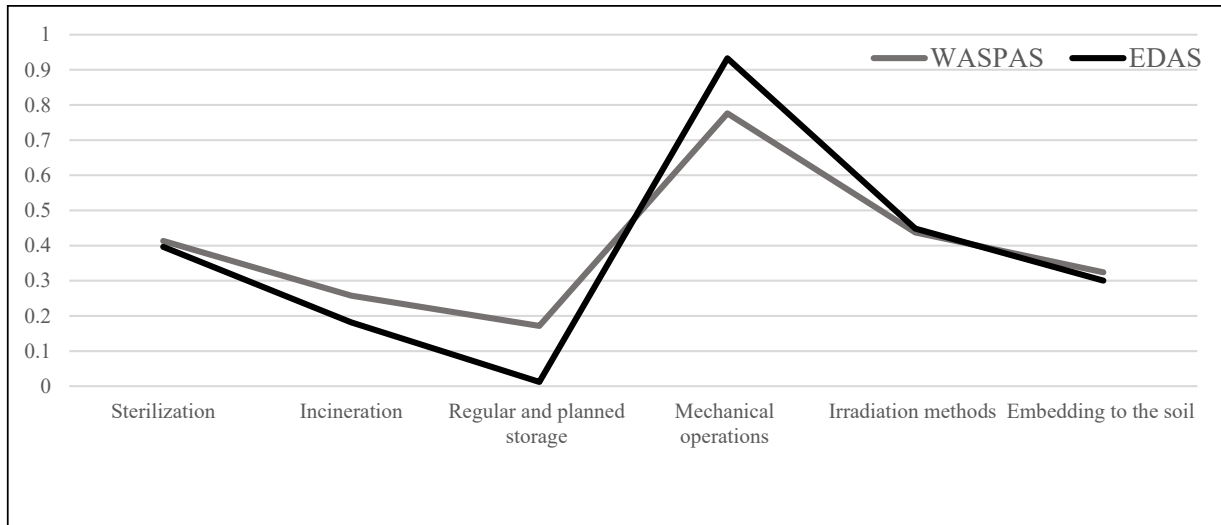
	$SP_i$	$SN_i$	$NSP_i$	$NSN_i$	$AS_i$	Ranking
$AT_1$	0.2689	0.2742	0.2487	0.5445	0.3966	3
$AT_2$	0.1662	0.4759	0.1537	0.2095	0.1816	5
$AT_3$	0.0265	0.6020	0.0245	0.0000	0.0122	6
$AT_4$	1.0812	0.0809	1.0000	0.6856	0.9328	<b>1</b>
$AT_5$	0.2764	0.2161	0.2556	0.6410	0.4483	2
$AT_6$	0.1590	0.3290	0.1470	0.4535	0.3002	4

Considering the values obtained as a result of the EDAS method according to Table 8, the Mechanical operations ( $AT_4$ ) technique was found to be the most appropriate technique for the disposal of medical wastes in the proposed model. This alternative technique was followed by Irridation methods ( $AT_5$ ) and Sterilization ( $AT_7$ ) techniques, respectively.

### 3.4. Comparing the findings

The order of the alternatives shown in Table 5 and Table 8 by WASPAS and EDAS methods is the same. Although the relative importance value of the alternatives obtained by the WASPAS method and the evaluation scores of the alternatives obtained by the EDAS method are different from each other, as seen in Fig. 3, the results obtained by both methods form the same graphical pattern.

As a result, according to the model proposed in this study, in which the techniques to be used for the disposal of medical waste in health institutions are evaluated, the most appropriate and the most prioritized medical waste disposal technique to be used is the Mechanical operations. This technique is followed by Irradiation methods, Sterilization, Embedding to the soil, Incineration, Regular and planned storage methods, respectively.



**Figure 3.** Comparison of WASPAS and EDAS methods results

This study was carried out emphasizes the importance of hospital waste management, as in study that is made by Öncel et al. (2023) [27]. Because hazardous medical wastes generated as a result of hospital activities are among the most important threats to human and environmental health.

After hospital wastes are subjected to appropriate separation conditions, waste collection and transportation optimization studies, as in Rızvanoğlu et al. (2020)'s study, can ensure rapid removal and disposal of waste [28]. Again, as in Karabulut et al. (2022)'s study, the dangerous effects of medical waste on the environment and human health can be reduced by studies on the placement of solid waste in regular landfills [29].

This study provides a great advantage to institutions and employees in making decisions regarding the selection of medical waste disposal techniques according to the type of waste. One of the important advantages of this study is that it determines the importance of medical wastes and guides healthcare institutions and employees in the management of these highly hazardous wastes. The disadvantage of this study is that a sufficiently in-depth result cannot be obtained due to the small number of experts whose opinions were taken.

#### 4. Conclusion

One of the biggest problems of today's world is the unconscious storage of wastes without being collected separately at their source and their random release to the environment. This big problem poses a danger to both the environment and human health, and as a result, various health problems arise. In order to eliminate this big problem, it is necessary to collect the wastes consciously, by people who have been trained on this subject, in accordance with the regulations and to dispose of them with the help of the most appropriate disposal techniques.

In this study, it is aimed to find the most suitable disposal technique that can be used for the disposal of medical wastes in the health sector by solving a proposed MCDM model with MCDM techniques. In the solution of the proposed model within the scope of the study, the importance weights of medical wastes were determined with the Entropy method, and the disposal techniques were evaluated with the WASPAS and EDAS methods, and the results obtained by both methods were compared in terms of consistency.

In the definition, creation, modeling and analysis of the problem discussed in this study, information obtained from literature sources, various researches and expert opinions was used.

According to the calculation results, the ordering of the importance weights of medical wastes from the largest to the smallest is as radioactive waste, amalgam waste, chemical waste, wastes containing heavy metals, contaminated packaging waste, infectious waste, pressure vessel waste, pathological waste, sharp penetrating waste, and pharmaceutical waste. After this ranking, alternative disposal techniques were evaluated with WASPAS and EDAS methods according to waste importance weights. The results obtained with both evaluation methods were compared and it was found that the order of alternative medical waste disposal techniques was consistent and their ordering is as Mechanical operations, Irradiation methods, Sterilization, Embedding to the soil, Incineration, and Regular and planned storage, respectively.

In the light of this information, it is ensured that medical wastes are removed from the environment with minimum danger by applying the most appropriate disposal techniques to medical waste types.

In future studies, new techniques can be added to waste disposal with the development of technology. With the increase in the number of alternative disposal techniques, new alternatives will support the model and opportunities can be provided to bring definite results to waste disposal.

### **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] Tulchinsky TH, Varavikova EA, Cohen MJ. Chapter 9 - Environmental and occupational health. *The New Public Health*. Academic Press Fourth Edition 2023; 681-750.
- [2] Krisha D, Sachan HK. Chapter 22 - Hazardous biomedical waste management scenario in developing countries. *Waste Management and Resource Recycling in the Developing World*. Elsevier 2023; 505-519.
- [3] Ma W, de Jong M, Zisopoulos F, Hoppe T. Introducing a classification framework to urban waste policy: Analysis of sixteen zero-waste cities in China. *Waste Management* 2023; 165: 94-107.
- [4] Dong D, Tukker A, Steubing B, van Oers L, Rechberger H, Aguilar-Hernandez GA, Li H, der Voet EV. Assessing China's potential for reducing primary copper demand and associated environmental impacts in the context of energy transition and "Zero waste" policies. *Waste Management* 2022; 144: 454-467.
- [5] Apollon W, Rusyn I, Gonzalez-Gamboa N, Kuleshova T, Luna-Maldonado AI, Vidales-Contreras JA, Kamaraj SK. Improvement of zero waste sustainable recovery using microbial energy generation systems: A comprehensive review. *Science of the Total Environment* 2022; 817: 153055.
- [6] Menekşe A, Akdağ HC. Medical waste disposal planning for healthcare units using spherical fuzzy CRITIC-WASPAS. *Applied Soft Computing* 2023; 144: 110480.
- [7] Mishra AR, Mardani A, Rani P, Zavadskas EK. A novel EDAS approach on intuitionistic fuzzy set for assessment of health-care waste disposal technology using new parametric divergence measures. *Journal of Cleaner Production* 2020; 272: 122807.
- [8] Ju Y, Liang Y, Luis M, Gonzalez EDRS, Giannakis M, Dong P, Wang A. A new framework for health-care waste disposal alternative selection under multi-granular linguistic distribution assessment environment. *Computers & Industrial Engineering* 2020; 145: 106489.

- [9] Liu HC, Wu J, Li P. Assessment of health-care waste disposal methods using a VIKOR-based fuzzy multi-criteria decision making method. *Waste Management* 2013; 33: 2744-2751.
- [10] Dursun M, Karsak EE, Karadayi MA. A fuzzy multi-criteria group decision making framework for evaluating health-care waste disposal alternatives. *Expert Systems with Applications* 2011; 38: 11453-11462.
- [11] Singh T, Singh V, Ranakoti L, Kumar S. Optimization on tribological properties of natural fiber reinforced brake friction composite materials: Effect of objective and subjective weighting methods. *Polymer Testing* 2023; 117: 107873.
- [12] Anilkumar BC, Maniyeri R, Anish S. Optimum selection of phase change material for solar box cooker integrated with thermal energy storage unit using multi-criteria decision-making technique. *Journal of Energy Storage* 2021; 40(1): 102807.
- [13] 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.
- [14] Ghafari S, Kaviani B, Sedaghatthoor S, Allahyari MS. Ecological potentials of trees, shrubs and hedge species for urban green spaces by multi criteria decision making. *Urban Forestry & Urban Greening* 2020; 55: 126824.
- [15] He Y, He J, Wen N. The challenges of IoT-based applications in high-risk environments, health and safety industries in the Industry 4.0 era using decision-making approach. *Journal of Innovation & Knowledge* 2023; 8: 100347.
- [16] Akgün H, Yapıcı E, Özkan A, Günkaya Z, Banar M. A combined multi-criteria decision-making approach for the selection of carbon-based nanomaterials in phase change materials. *Journal of Energy Storage* 2023; 60: 106619.
- [17] Devenci M, Öner SC, Çiftçi ME, Özcan E, Pamucar D. Interval type-2 hesitant fuzzy Entropy-based WASPAS approach for aircraft type selection. *Applied Soft Computing* 2022; 114: 108076.
- [18] Vaid SK, Vaid G, Kaur S, Kumar R, Sidhu MS. Application of multi-criteria decision-making theory with VIKOR-WASPAS-Entropy methods: A case study of silent Genset. *Materials Today: Proceedings* 2022; 50: 2416-2423.
- [19] Ali J, Bashir Z, Rashid T. WASPAS-based decision making methodology with unknown weight information under uncertain evaluations. *Expert Systems with Applications* 2021; 168: 114143.
- [20] Zhu JH, Chen J, Li GF, Shuai B. Using cross efficiency method integrating regret theory and WASPAS to evaluate road safety performance of Chinese provinces. *Accident Analysis and Prevention* 2021; 162: 106395.
- [21] Bolan S, Padhye LP, Kumar M et al. Review on distribution, fate, and management of potentially toxic elements in incinerated medical wastes. *Environmental Pollution* 2023; 321: 121080.
- [22] Hou Y, Jia L, Ma W, Hao JL. Analysing the factors affecting medical waste generation in China. *Sustainable Chemistry and Pharmacy* 2023; 32: 100975.
- [23] Odonkor ST, Sallar AM. Correlates of household waste management in Ghana: implications for public health. *Heliyon* 2021; 7: e08227.
- [24] Zhao H, Liu H, Wei G, Zhang N, Qiao H, Gong Y, Yu X, Zhou J, Wu Y. A review on emergency disposal and management of medical waste during the COVID-19 pandemic in China. *Science of the Total Environment* 2022; 810: 152302.
- [25] Govindan K, Nosrati-Abarghoee S, Nasiri MM, Jolai F. Green reverse logistics network design for medical waste management: A circular economy transition through case approach. *Journal of Environmental Management* 2022; 322: 115888.
- [26] Joneghani NM, Zarrinpoor N, Eghtesadifard M. A mathematical model for designing a network of sustainable medical waste management under uncertainty. *Computers & Industrial Engineering* 2022; 171: 108372.
- [27] Öncel M, Yazıcı Karabulut B, Çelik H, Yeşilnacar Mİ. Şanlıurfa’da hastane atıklarının yönetimi bağlamında örnek bir çalışma. *Türkiye’de Sıfır Atık: Tespitler, Beklentiler ve Fırsatlar*, 25-26 Mart 2023, İstanbul, 134-141.

- [28] Rızvanoğlu O, Kaya S, Ulukavak M, Yeşilnacar Mİ. Optimization of municipal solid waste collection and transportation routes, through linear programming and geographic information system: a case study from Şanlıurfa, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment* 2020; 192: 1-12.
- [29] Karabulut Aİ, Yazici Karabulut B, Derin P, Yesilnacar Mİ, Cullu MA. Landfill siting for municipal solid waste using remote sensing and geographic information system integrated analytic hierarchy process and simple additive weighting methods from the point of view of a fast-growing metropolitan area in GAP area of Turkey. *Environmental Science and Pollution Research* 2022; 29(3): 4044-4061.

## TREND ANALYSIS OF METEOROLOGICAL PARAMETERS & DROUGHT ANALYSIS IN THE MURAT RIVER BASIN

Üveys YAMAN<sup>1</sup>, Ayşe Yeter GÜNAL<sup>2</sup>

<sup>1</sup> MSc. Gaziantep University, Faculty of Engineering, Civil Engineering Department, Gaziantep.

<sup>2</sup> Dr. Gaziantep University, Faculty of Engineering, Civil Engineering Department, Gaziantep.

Geliş Tarihi/Received Date: 09.11.2023 Kabul Tarihi/Accepted Date: 22.04.2024 DOI: 10.54365/adyumbd.1388659

### ABSTRACT

Recognizing hydro-meteorological trends and monitoring drought are crucial for evaluating climate change and variability at basin and regional levels. In this Study, The Standard Precipitation Index (SPI) was used to assess drought in the Murat River Basin, analyzing monthly data from seventeen stations over various time periods. Wallis and Moore's test was used to analyze the homogeneity of the obtained monthly data from 17 rainfall stations and 18 temperature stations, while Mann-Kendal tests were used to assess trends. The study analyzing data from 17 meteorological stations in the Murat River Basin found a lack of rainfall and severe droughts in 2014 and 2018. The Mann-Kendall test showed a decreasing trend in monthly precipitation data from 17 stations. Temperature data from 18 stations showed a rising trend, except for station 4025, with most showing a rise. The study suggests that rising temperatures and decreasing precipitation will lead to a decline in water supply in the future, affecting socioeconomic life by reducing water resources and soil moisture.

**Keywords:** Climate Change, Trend Analysis, Drought Analysis, Murat River Basin, Standard Precipitation Index (SPI)

## MURAT NEHRİ HAVZASINDA METEOROLOJİK PARAMETRELERİN TREND ANALİZİ VE KURAKLIK ANALİZİ

### ÖZET

Hidro-meteorolojik eğilimlerin tanınması ve kuraklığın izlenmesi, havza ve bölgesel düzeyde iklim değişikliği ve değişkenliğinin değerlendirilmesi için çok önemlidir. Bu çalışmada, Murat Nehri Havzası'ndaki kuraklığı değerlendirmek için Standart Yağış İndeksi (SPI) kullanılmış ve çeşitli zaman dilimlerinde on yedi istasyondan alınan aylık veriler analiz edilmiştir. Elde edilen 17 yağış ve 18 sıcaklık istasyonlarının aylık verilerinin homojenliğini analiz etmek için Wallis ve Moore testi kullanılırken, eğilimleri değerlendirmek için Mann-Kendal testleri kullanılmıştır. Murat Nehri Havzası'ndaki 17 meteoroloji istasyonundan elde edilen verilerin analiz edildiği çalışmada, 2014 ve 2018 yıllarında yağış eksikliği ve şiddetli kuraklık tespit edilmiştir. Mann-Kendall testi, 17 istasyondan alınan aylık yağış verilerinde bir azalma eğilimi olduğunu göstermiştir. 18 istasyondan alınan sıcaklık verileri, 4025 numaralı istasyon hariç, artış eğilimi göstermiştir. Çalışma, artan sıcaklıklar ve azalan yağışların gelecekte su arzında düşüşe yol açacağını, su kaynaklarını ve toprak nemini azaltarak sosyo-ekonomik yaşamı etkileyeceğini öne sürmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** İklim Değişikliği, Trend Analizi, Kuraklık Analizi, Murat Nehri Havzası, Standart Yağış Endeksi (SPI)

<sup>1</sup> e-mail : [uweysyaman@gmail.com](mailto:uweysyaman@gmail.com) ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0006-6831-3494> (Sorumlu Yazar)

<sup>2</sup> e-mail : [agunal@gantep.edu.tr](mailto:agunal@gantep.edu.tr) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4866-2914>

## 1. Introduction

Water and oxygen are the only ingredients that could support life on Earth, which is the only planet we know of in this universe.[1] For life on earth to survive, water is essential. It is impossible for anyone to survive even a single day without water. In addition, there is a limited amount of clean water accessible for human consumption. In order to ensure the future of pure water, we should conserve it. [2] It is impossible for life on Earth to exist without water. On our planet, water plays a pivotal role, serving as the lifeblood that sustains various essential activities. From dawn to dusk, water is harnessed for a multitude of purposes. [3] It is consumed for drinking, utilized in cooking, employed for cleaning and laundering, and essential for nurturing plants. [4] Additionally, water serves as a critical resource for agricultural cultivation, industrial operations, and the generation of electricity in hydroelectric power plants. [5] Its significance reverberates across diverse sectors, making it an indispensable element in our daily lives.

Drought is a natural phenomenon resulting from abnormally low rainfall. Meteorological droughts are caused by increased temperatures and lower humidity, while hydrological droughts occur when river flow and underground water decrease.[6] Turkey is currently experiencing a severe meteorological drought from 2013-2014, which is progressing from a meteorological drought to an agricultural and hydrological drought due to a significant reduction in winter precipitation.[7] Global climate changes are causing increased frequency and severity of meteorological droughts, making drought a normal part of daily life. [8] Turkey needs to plan for its drinking water needs, meet its hydroelectric energy demand, and implement drought-resistant agricultural irrigation methods.

A study carried out by V. Gumus and Y. Avsaroglu evaluates historical droughts in the Tigris basin of Turkey between 1965 and 2020 using the Standardized Precipitation Index (SPI) method for 3-, 6-, and 12-month time scales. Three periods are considered: 1965-1983, 1983-192001, and 2001-2020. The mean peak drought indices in the basin increased significantly from FP to TP for all time scales. Extreme and severe drought occurrences in SPI-3 and SPI-6 increased from the past to the present.[9] In SPI-12, although there is a significant decrease in extreme drought occurrence at FP and SP, it increases considerably at TP. The trend analysis results show an increase in decreasing trend stations in the basin, and a considerable increase in stations with decreasing trends in almost all drought classes in SPI-6 and SPI-12.

M. I. Yuce and M. Esit examines the use of 10 drought indices (SPI, SPEI, scPDSI, CZI, MCZI, RAI, RDI, DI, PNI, and ZI) to monitor drought events in the Ceyhan Basin, Turkey. Eight meteorological stations were used to evaluate the applicability and effectiveness of these indexes during previous droughts.[10] The indices show strong correlations for 1-month time scales, but low correlations for longer time scales. The study found a significant increasing trend in annual maximum, minimum, and average temperature time series in all seven stations, with a decreasing trend in five stations and an increasing trend in three stations, indicating that droughts will likely occur in the Ceyhan Basin.

A study conducted by Yuce İ. and Eşit M. uses the Standardized Precipitation Index (SPI) and Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) to analyze droughts in Samsun province. The analysis examines the effects of climate change on precipitation, temperature, relative humidity, and evaporation. The study finds an increasing trend in temperature data but no trend in precipitation, relative humidity, and evaporation data.[11] A strong relationship is found between SPI and SPEI in 1-month time series and 3-, 6-, 9-, 12-, and 24-month time series with decreasing  $R^2$  value. The normal drought category is the most common, while extreme drought is the least common. Little difference is observed between the two indices.

R. Yadav and S. Tripathi conducted a study focuses on the changing trends of rainfall and temperature in thirteen districts of Uttarakhand, located on the southern slope of the Himalayan range. The climate and vegetation vary greatly with elevation, from glaciers at high elevations to subtropical forests at lower elevations. The study analyzes the most important climatic variables, including precipitation and temperature, using daily rainfall data from 1971 to 2011 and temperature data from 1971 to 2007. The Mann-Kendall Test and Sen's Slope Estimator are used to determine trend and slope magnitude.[12] The results show increasing and decreasing trends in precipitation and temperature in some months, suggesting overall insignificant changes in the area.

This study involves the use of data from meteorological stations in the Murat River Basin. Before using rainfall and temperature data for detecting any trend and analyzing drought in the basin, the row data's homogeneity has been checked by conducting the Wallis-Moore test. Homogeneous data was used with care to get more accurate findings. In this respect, R Studio software has been used to estimate the hydro-meteorological condition of the basin utilizing trend analysis. Is there a hydro-meteorological trend in the Murat River Basin that may be utilized for this purpose? Will there be any drought effecting water resources resulted in difficulty of supplying water? In this research, answers to these questions were sought.

## 2. Methodology

### 2.1. Homogeneity by The Wallis-Moore Test for precipitation and temperature

A number of methods have been developed for confirming that meteorological series are homogeneous [13] Normally, homogeneity is determined by one of two methods: the absolute method or the relative method. Each station is assessed separately in the first method. Furthermore, nearby reference stations can also be used as part of the second method of testing [14]. There is, however, difficulty in locating reference stations with a high correlation and homogeneous structure in vast regions. Thus, in our study, homogeneity was determined by the absolute technique [15]. The Wallis-Moore test was conducted to analyze the inhomogeneity in global annual precipitation data from gauging stations.

Using the phase frequency test (1941), Wallis and Moore evaluated a sequence of values  $X_1, X_2, \dots, X_n$  for randomness.  $X_1, X_2, X_1, \dots, X_n$ . Sign-difference (- or +) tests are performed with  $X_n$ . Indication sequences occurring at the beginning and end of phases are not taken into account. The total number of phases is determined by  $H$  [16]. The hypothesis that  $H$  is typically disturbed may be tested fairly effectively when continuity correction is applied and  $n$  is less than 10. It is not necessary to apply the correction when  $n$  is less than 25.

$$E[H] = \frac{1}{3}(2n - 7) \quad (1)$$

$$var[H] = \frac{1}{90}(16n - 29) \quad (2)$$

$$z = \frac{H - E[H]}{\sqrt{\left(\frac{1}{90}(16n - 29)\right)}} \quad (3)$$

### 2.2. Trend test by Mann-Kendall test for precipitation and temperature Test

It relies on the relationship between a time series' rankings and sequences to determine the Mann-Kendall trend test [17]. A given time series  $X_i, i = 1, 2, \dots, n$  is independently distributed according



to the null hypothesis H0, while a monotonic trend is maintained by the alternative hypothesis H1. Accordingly, test statistic is calculated as follows.

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (4)$$

Where n represents the number of data and x represents the data at times i and j ( $j > i$ ) [18]. The signal function is defined as follows:

$$\text{sgn}(x_j - x_k) = \begin{cases} 1 & (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (5)$$

When  $n \geq 10$ , variance of the S value is calculated as follows:

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (6)$$

Variance is calculated as follows if there are equal observations in the series:

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_i^r t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad (7)$$

Z test statistic for  $n > 10$  is calculated as follows.

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & S < 0 \end{cases} \quad (8)$$

Positive values of z indicate an upward trend, while negative values indicate a downward trend. According to the statistics, the crucial test statistical values for unique significant cases were 1.64 and 1.96 at 90% and 95% probability levels, respectively.

### 2.3. Standardied Precipitation Index (SPI)

In various periods of time, the SPI is used to measure precipitation deficits. During these times, different sources of water have been affected by drought. In response to anomalous precipitation patterns, soil moisture levels fluctuate in the short term. Streamflow and reservoir storage are affected by longer-term precipitation anomalies [19]. Long-term rainfall statistics are used to calculate the SPI for every unique site. It is necessary to fit this long-term data to a probability distribution, and then transform it into a normal distribution, in order to ensure that the mean SPI is zero during the relevant time period [20]. The SPI value that is negative represents below-average precipitation, while the SPI value that is positive represents above-average precipitation. Since the SPI is normalized, wet and dry conditions may be displayed similarly [19] When the SPI is consistently negative and reaches an intensity of -1.0 or below, then a drought has occurred. In the event that the SPI is positive, the event is over. As a result, each drought event has a duration and strength based on its beginning and end dates. The "magnitude" of the drought is calculated by adding the SPIs during all months of the drought. The SPI index can be seen in Table 1.

**Table 1.** SPI (standardized precipitation index) classification [19]

SPI Index	Category
2.0+	Extremely wet
1.5 to 1.99	Very wet
1.0 to 1.49	Moderately wet
-.99 to .99	Near normal
-1.0 to -1.49	Moderately dry
-1.5 to -1.99	Severely dry
-2 and less	Extremely dry

In order to calculate the standardized precipitation index (SPI), you divide the percentage change in precipitation from the mean by the standard deviation for the relevant time period.

$$SPI = \frac{X_{ij} - X_{im}}{\sigma} \tag{9}$$

SPI: Standard Precipitation Index

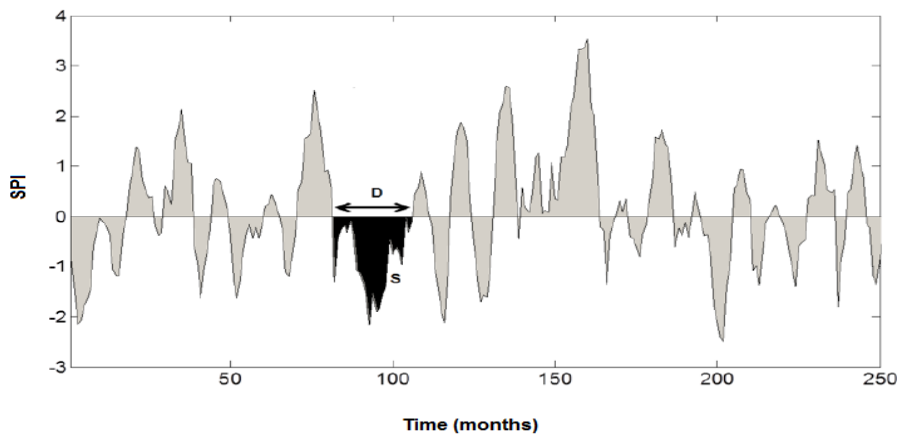
X<sub>ij</sub>: Observed Precipitation (mm)

X<sub>im</sub>: Average of Precipitation Series (mm)

σ: Standard deviation of the series

SPI indices for the 1-, 3-, 6-, 9-, 12-, and 24-month timescales are utilized for each measuring station. The amount of rainfall deficit, or the total amount of time that negative SPI values preceded and succeeded by positive SPI values, is what is used to determine how long a drought lasts (Figure 1).[21] Any drought period's intensity, beginning at the i<sup>th</sup> month, is described as:

$$S = \sum_{i=1}^D |-SPI_i| \tag{10}$$



**Figure 1:**The severity S and duration D of a drought episode are determined using the drought index SPI.[7]

Meteorological and agricultural soil moisture conditions respond to precipitation anomalies over relatively short time periods, ranging from 1 to 6 months, unlike streamflow, reservoirs, and groundwater [22]. As a result, meteorological drought applications may require a 1- to 2-month SPI, agricultural drought applications may require a 1- to 6-month SPI, and hydrological drought applications may require a 6- to 24-month SPI or longer. From 2013 to 2014, Turkey suffered from a severe drought. Drought conditions are changing from meteorological to agricultural and hydrological due to a significant decrease in winter precipitation. The increased frequency and intensity of meteorological droughts in Turkey are likely to be related to changes in the worldwide climate [23]. We can assume that drought will increasingly affect daily life as a result of global climate change.

### 3. Study Area And Data

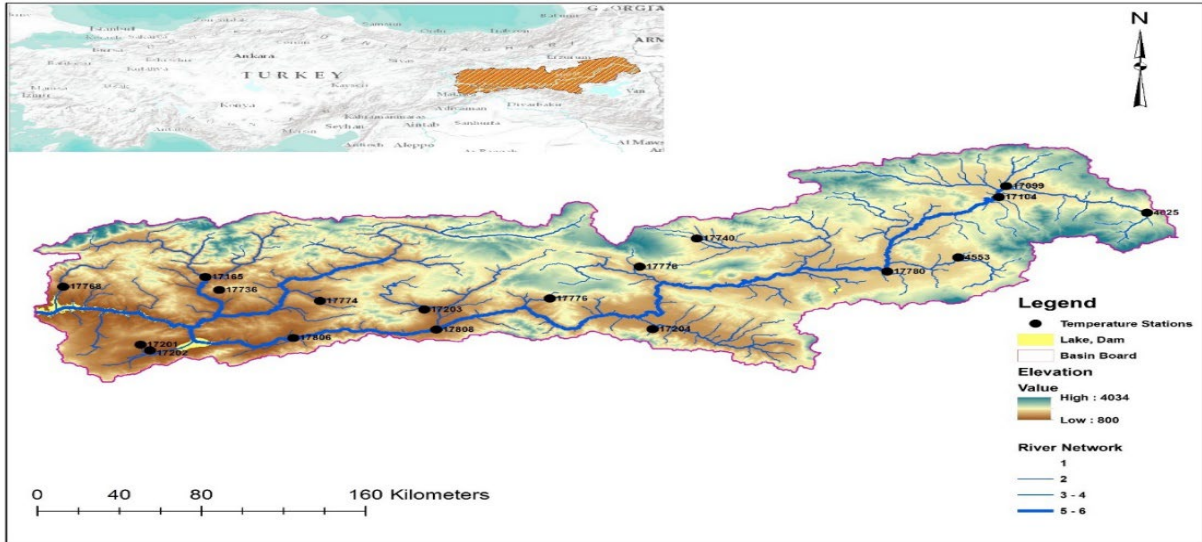
It is one of Western Asia's longest and most significant rivers, both in terms of catchment area and length. Turkey, Syria, and Iraq occupy the vast majority of the basin. Saudi Arabia and Kuwait only have tiny portions inside their borders. There are approximately 2786 kilometers of river along its length. About 440 000 people live in the catchment area of the river, of which 28%, or 123 000, live in Turkey. Most of the water for the Euphrates comes from the Murat River, also known as the Eastern Euphrates. Around 40.000 people live along its 720 kilometers of hilly terrain in Turkey's mountainous region near Mount Ararat at around 3520 meters above sea level [24];[25]. A warm and dry summer is characteristic of the Murat River Basin, while a cold and rainy winter is also characteristic.[26] With a combination of rain and snow, autumn, winter, and spring are the wettest seasons in mountainous headwater regions. Autumn and spring are relatively brief transitional periods [27]. In the winter, the most precipitation occurs between November and April. In the Murat River Basin, as shown in Figure 2, annual precipitation varies from 350 to 1010 mm, depending on the region.



**Figure 2.** Location area, Murat Basin

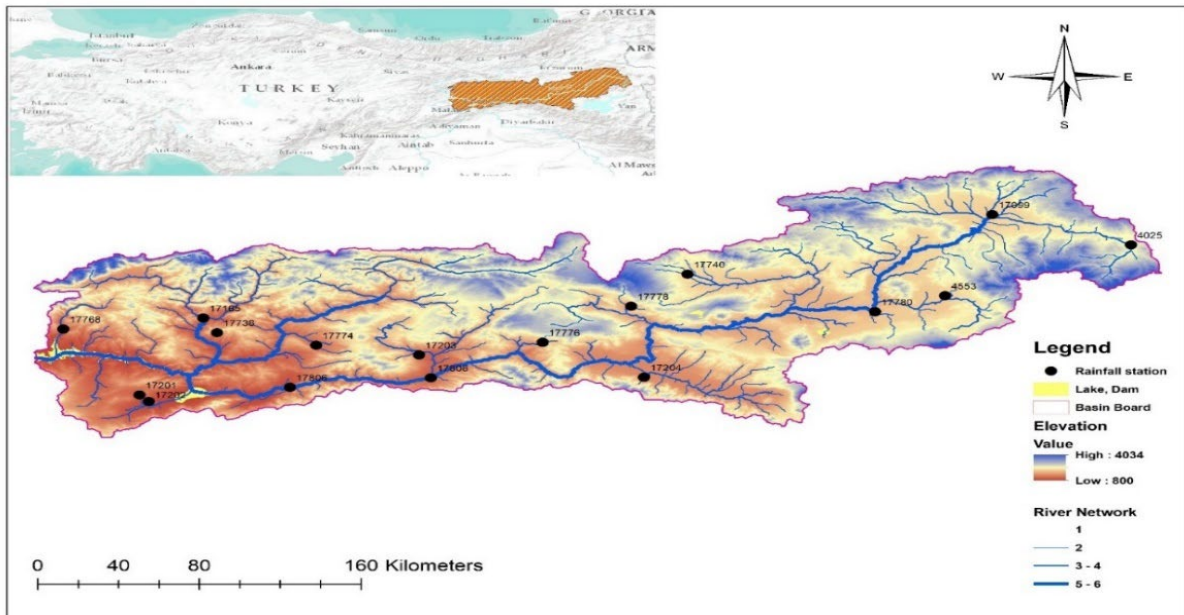
A location near the intersection of the NAF (North Anatolian Fault) and EAF (Eastern Anatolian Fault) in eastern Anatolia has been strongly impacted by neotectonic deformations since the middle Miocene. From the Turkish-Iranian-Caucasus orogen to the Himalayan-Tibetan orogen, the Eastern Anatolian plateau forms the westernmost border of the world's largest continental collision belt.[28] Combined with the collision of Arabia, India, and Eurasia, the Central Anatolian plateau has created this situation. In Eastern Anatolia (EA), multiple E-W extended basins were formed as a result of compressional tectonic activity. In the current study, we select the Muş Basin as the research area, which has the characteristics of an intermontane press [29]. Several studies have been conducted on the Murat

River, which is the main branch of the Euphrates River. It is mostly located in the geological depression of the Muş Basin on the East Anatolian plateau [30]. As for the second region, it experiences an average annual temperature of 9.5°C and rainfall of 700–750 mm (General Directorate of Meteorology).



**Figure 3.** Temperature stations in the Murat River Basin

A total of 17 hydro-meteorological stations were used in this study to obtain average monthly precipitation data. Furthermore, precipitation data were provided by the General Directorate of Meteorology (MGM), as illustrated in Table 2 and Figure 3. Throughout the Murat River Basin, the data of 18 different temperature stations (can be seen in the figure 4) were examined in this research. Data for stations were obtained from the General Directorate of Meteorology.



**Figure 4.** Rainfall Stations of the Murat River Basin

**Table 2.** Geographical values of Murat River Basin, Precipitation and Temperature Stations (\*Station number 17104 is only temperature station)

Station ID	Observation year	Location name	Elevation(m)	Average Temperature (°C)	Longitude	Latitude
17778	1977-2020	Varto	1650	7.8	414.452	391.764
17204	1964-2020	Muş Merkez	1320	9.7	415.023	387.509
17780	1959-2020	Malazgirt	1666	7.3	425.308	391.436
4553	1976-2002	Patnos	1650	7.5	428.420	392.394
4025	1977-1994	Diyadin	1900	5.2	436.694	395.436
17104*	2001-2020	Ahmed-i Hani Havaalanı	1645	9.36	430.200	396.500
17099	1940-2020	Ağrı	1632	6.2	430.522	397.253
17203	1961-2020	Bingöl Merkez	1177	12.1	405.007	388.847
17776	1965-2020	Solhan	1366	10.4	410.503	389.597
17808	1979-2020	Genç	1250	12	405.528	387.477
17806	1965-2020	Palu	1000	13.7	39.926	386.907
17202	2001-2020	Elazığ	884	13.5	392.973	386.058
17201	1938-2020	Elazığ Bölge	990	13.1	392.561	386.443
17740	1960-2020	Hınıs	1716	6.5	416.957	393.688
17774	1979-2020	Karakoçan	1580	11.1	400.428	389.425
17736	1981-2020	Mazgirt	1100	11.3	396.015	390.180
17165	1960-2020	Tunceli	940	12.7	395.408	391.058
17768	1968-2020	Çemişgezek	953	13.6	389.177	390.401

## 4. Results

### 4.1. Precipitation and temperature results of Homogeneity by The Wallis-Moore Test

In general, when test findings are reviewed in depth, the rainfall data series are homogeneous, as illustrated in (Table 3). There is a nonhomogeneity in the data series from 4025 stations, 4553 stations, and 17778 stations when analysis findings are reviewed at 90% and 95% confidence intervals. In 17774 stations, the data series are homogeneous at a 90% confidence interval, but in the same station, the data series for precipitation are nonhomogeneous.

**Table 3.** The Results of Wallis and Moore Homogeneity Test for Precipitation Data

Wallis and Moore Test Results				
Station ID	p-value	Z value	0.90 (+-1.64)	0.95 (+-1.96)
4025	0,024	2,260	Non-homogeneous	Non-homogeneous
4553	0,015	2,442	Non-homogeneous	Non-homogeneous

17099	0,534	0,622	Homogeneous	Homogeneous
17165	0,304	1,028	Homogeneous	Homogeneous
17201	0,792	0,263	Homogeneous	Homogeneous
17202	0,781	-0,278	Homogeneous	Homogeneous
17203	0,407	0,829	Homogeneous	Homogeneous
17204	0,395	0,851	Homogeneous	Homogeneous
17736	0,609	0,512	Homogeneous	Homogeneous
17740	0,304	1,028	Homogeneous	Homogeneous
17768	1,000	0,000	Homogeneous	Homogeneous
17774	0,081	1,746	Non-homogeneous	Homogeneous
17776	0,519	0,644	Homogeneous	Homogeneous
17778	0,028	2,191	Non-homogeneous	Non-homogeneous
17780	0,126	1,529	Homogeneous	Homogeneous
17806	0,334	0,967	Homogeneous	Homogeneous
17808	0,318	0,998	Homogeneous	Homogeneous

Table 3. Continue

The study used temperature data from 18 meteorological stations in the Murat River Basin to assess homogeneity. The results showed that the data series was not homogeneous at 90%, but homogeneity was observed at a 95% confidence level. Station 17202 had a p-value of 0.058 and a Z-value of 1.894, indicating it was not homogeneous. Station 17204 had a Z-value of 1.809 and a p-value of 0.070, indicating it was not homogeneous with 90% confidence (Table 4).

Table 4. Wallis and Moore Homogeneity Results of Test for Temperature Data

Wallis and Moore Test Results				
Station ID	p-value	Z value	0.90 % (+-1.64)	0.95 % (+-1.96)
4025	0.922	0.098	Homogeneous	Homogeneous
4553	0.937	-0.079	Homogeneous	Homogeneous
17099	0.477	0.711	Homogeneous	Homogeneous
17104	0.781	0.278	Homogeneous	Homogeneous
17165	0.681	0.411	Homogeneous	Homogeneous
17201	0.599	0.526	Homogeneous	Homogeneous
17202	0.058	1.894	Non-homogeneous	Homogeneous
17203	0.147	1.451	Homogeneous	Homogeneous
17204	0.07	1.809	Non-homogeneous	Homogeneous
17736	0.898	0.128	Homogeneous	Homogeneous
17740	0.918	0.103	Homogeneous	Homogeneous
17768	0.74	0.331	Homogeneous	Homogeneous
17774	0.383	0.873	Homogeneous	Homogeneous
17776	0.519	0.644	Homogeneous	Homogeneous
17778	0.715	0.365	Homogeneous	Homogeneous
17780	0.292	1.055	Homogeneous	Homogeneous
17806	1.000	0	Homogeneous	Homogeneous
17808	0.383	0.873	Homogeneous	Homogeneous

#### 4.2. Precipitation and temperature results by Mann-Kendall test

The Mann-Kendall test was used to analyze monthly rainfall data from stations in the Murat River basin. The results showed a decreasing trend at the 90% confidence interval and no trend at the 95% confidence interval for stations 4025, 4553, 17099, 17165, 17201, 17202, 17203, 17204, 17736, 17774, and 17780. Station 17768 showed a statistically significant decreasing trend, while Station 17778 showed a statistically significant trend. Station 17736 showed a statistically significant trend, while Station 17740 showed a statistically significant no trend (Table 5). The results suggest that the precipitation trend in the Murat River basin are not uniformly distributed across different stations.

**Table 5.** Mann-Kendall Trend Analysis Results

Mann-Kendall Test Results					
Station ID	p-value	Var S	Z value	Trend (90%)	Trend (95%)
4025	0,36	697,00	-0,91	No trend	No trend
4553	0,71	2301,00	-0,38	No trend	No trend
17099	0,88	60119,00	-0,15	No trend	No trend
17165	0,23	25823,33	-1,20	No trend	No trend
17201	0,61	64657,00	-0,51	No trend	No trend
17202	0,31	950,00	-1,01	No trend	No trend
17203	0,85	24582,33	-0,19	No trend	No trend
17204	0,74	21102,67	0,34	No trend	No trend
17736	0,40	7365,67	-0,84	No trend	No trend
17740	0,05	25822,33	-1,94	Decreasing	No trend
17768	0,01	16995,33	-2,55	Decreasing	Decreasing
17774	0,18	8513,33	-1,35	No trend	No trend
17776	0,08	20020,00	-1,76	Decreasing	No trend
17778	0,01	9774,33	-2,75	Decreasing	Decreasing
17780	0,98	27104,33	-0,02	No trend	No trend
17806	0,06	20020,00	-1,87	Decreasing	No trend
17808	0,01	8513,33	-2,74	Decreasing	Decreasing

The study used the Mann-Kendall test to analyze monthly data from temperature stations in the Murat River basin. The results showed a trend towards an increase at nearly all 18 stations. The analysis showed a trend towards an increasing trend at a 90% confidence interval and a 95% confidence interval for stations 4553, 17099, 17165, 17201, 17202, 17203, and 17204. At 90% and 95% confidence levels, Station 4025 showed no statistically significant trend in temperature with a p-value of 0.111, a variance Var (S) of 695, and a standardized test statistic (Z) of -1.593 (Table 6). On the other hand, Station 17104 showed an increasing trend with a p-value of 0.060, a variance Var (S) of 949.00, and a standardized test statistic (Z) of 1.883. The study provides a comprehensive analysis of temperature trends in the Murat River basin.



**Table 6.** Mann-Kendall Trend Analysis Results

<b>Mann-Kendall Test Results</b>					
<b>Station ID</b>	<b>p-value</b>	<b>Var S</b>	<b>Z value</b>	<b>Trend (90%)</b>	<b>Trend (95%)</b>
4025	0.111	695.000	-1.593	No trend	No trend
4553	0.016	2.289.333	2.403	Increasing	Increasing
17099	0.022	60.028.000	2.290	Increasing	Increasing
17104	0.06	949.000	1.883	Increasing	No trend
17165	0	25.723.667	4.714	Increasing	Increasing
17201	0.002	64.456.000	3.131	Increasing	Increasing
17202	0.002	7.883.000	3.131	Increasing	Increasing
17203	0.014	24.504.000	2.447	Increasing	Increasing
17204	0	21.066.333	4.671	Increasing	Increasing
17736	0.001	7.343.667	3.454	Increasing	Increasing
17740	0	25.761.667	4.822	Increasing	Increasing
17768	0	16.917.667	5.305	Increasing	Increasing
17774	0.033	8.485.667	2.128	Increasing	Increasing
17776	0.001	19.970.000	3.319	Increasing	Increasing
17778	0.006	9.746.333	2.755	Increasing	Increasing
17780	0.001	22.149.333	3.272	Increasing	Increasing
17806	0	19.957.333	3.745	Increasing	Increasing
17808	0.002	8.469.333	3.140	Increasing	Increasing

#### 4.3. Results of SPI

The study used the SPI index to analyze data from seventeen meteorological stations in the Murat River Basin over periods of 1, 3, 6, 9, 12, and 24 months. The severity and duration of droughts were crucial, with the SPI index determining the maximum drought severity at stations on a one-month time scale. In 1989, severe droughts occurred at stations 4025, 4553, 17099, 17165, 17201, 17203, 17204, 17736, and 17780. Station 17780 experienced the highest absence of precipitation in 1989, with an intensity of 12.8 and a duration of nine months. Station 17202 experienced the highest drought magnitude and duration in 2004, while the SPI 24 index measured a maximum drought magnitude and duration of 35.1 and 27 months. Stations 17740, 17774, and 17778 experienced the most severe droughts in 2012, with the highest lack of precipitation observed in 17778. Station 17808 had the highest maximum drought in 2018 with a magnitude of 22.97 and a duration of 24 months (Table 7 and Table 8).



**Table 7.** According to six different time series, the maximum, average, and minimum drought severity and drought duration (month)

Station N.	Index	SPI 1		SPI 3		SPI 6		SPI 9		SPI 12		SPI 24	
		S	D	S	D	S	D	S	D	S	D	S	D
4025	Min.	0.1	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0
	Av.	0.4	1.7	0.4	3.1	0.4	5.0	0.4	6.4	0.3	5.8	0.3	5.7
	Max	<b>9.96</b>	7.0	13.	9.0	17.	14.	21.	17.	27.	22.	50.	35.
	.	<b>(1989)</b>		4	3	0	2	0	1	0	1	0	0
4553	Min.	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.2	1.0	0.1	1.0	0.0	1.0
	Av.	0.4	1.8	0.4	3.0	0.4	5.9	0.4	7.6	0.4	7.3	0.4	8.1
	Max	<b>10.78</b>	7.0	15.	13.	41.	30.	49.	33.	55.	32.	74.	66.
	.	<b>(1989)</b>		9	0	5	0	8	0	0	0	5	0
17099	Min.	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0
	Av.	0.4	2.1	0.4	4.2	0.4	7.1	0.4	7.6	0.4	10.	0.4	11.
	Max	<b>10.92</b>	9.0	17.	19.	34.	40.	41.	41.	48.	58.	79.	71.
	.	<b>(1989)</b>		6	0	1	0	6	0	1	0	3	0
17165	Min.	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0
	Av.	0.4	2.0	0.4	3.7	0.4	6.9	0.4	9.6	0.4	13.	0.4	34.
	Max	<b>12.52</b>	10.	18.	14.	20.	26.	45.	50.	49.	49.	66.	80.
	.	<b>(1989)</b>	0	2	0	3	0	8	0	7	0	2	0
17201	Min.	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.1	1.0	0.0	1.0
	Av.	0.4	1.8	0.4	3.6	0.4	6.5	0.4	7.8	0.4	9.6	0.4	11.
	Max	<b>9.72</b>	7.0	13.	12.	38.	31.	46.	34.	51.	47.	67.	62.
	.	<b>(1989)</b>		2	0	3	0	1	0	5	0	1	0
17202	Min.	0.1	1.0	0.2	1.0	0.1	1.0	0.1	1.0	0.0	1.0	0.7	2.0
	Av.	0.4	1.7	0.4	3.7	0.4	6.2	0.4	6.5	0.4	13.	0.4	12.
	Max	<b>6.27</b>	4.0	12.	13.	26.	22.	31.	23.	34.	39.	35.	27.
	.	<b>(2004)</b>		1	0	2	0	4	0	7	0	1	0
17203	Min.	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0
	Av.	0.4	1.9	0.4	3.7	0.4	5.6	0.4	6.4	0.4	8.6	0.4	12.
	Max	<b>10.35</b>	8.0	18.	17.	26.	31.	28.	31.	30.	35.	69.	68.
	.	<b>(1989)</b>		1	0	3	0	0	0	9	0	4	0
17204	Min.	0.0	1.0	0.0	1.0	0.1	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0
	Av.	0.4	1.8	0.4	3.4	0.4	5.6	0.4	7.1	0.4	8.3	0.4	16.
	Max	<b>9.52</b>	7.0	15.	16.	30.	25.	38.	34.	42.	34.	75.	62.
	.	<b>(1989)</b>		2	0	8	0	6	0	9	0	0	0

**Table 8.** According to six different time series, the maximum, average, and minimum drought severity and drought duration (month)

Station ID	Index	SPI 1		SPI 3		SPI 6		SPI 9		SPI 12		SPI 24	
		S	D	S	D	S	D	S	D	S	D	S	D
17736	Min.	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.1	1.0
	Av.	0.4	2.0	0.4	3.2	0.4	5.4	0.4	8.1	0.4	9.8	0.4	13.5
	Max.	<b>11.63</b> (1989)	8.0	16.5	16.0	19.0	24.0	22.1	26.0	57.8	50.0	78.4	66.0
17740	Min.	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0
	Av.	0.4	1.9	0.4	4.0	0.4	5.9	0.4	8.6	0.4	10.6	0.2	16.4
	Max.	<b>15.25</b> (2012)	11.0	24.7	30.0	60.7	35.0	72.6	45.0	76.7	46.0	23.9	37.0
17768	Min.	0.1	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0
	Av.	0.4	2.0	0.4	3.2	0.4	4.6	0.4	6.3	0.4	8.2	0.4	9.8
	Max.	<b>15.76</b> (2014)	11.0	25.7	13.0	52.8	37.0	61.2	38.0	76.8	57.0	149.6	100.0
17774	Min.	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0
	Av.	0.4	1.9	0.3	3.6	0.4	5.6	0.4	7.0	0.4	6.3	0.4	7.4
	Max.	<b>11.47</b> (2012)	9.0	22.4	18.0	57.3	40.0	67.2	38.0	73.5	43.0	91.8	50.0
17776	Min.	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0
	Av.	0.4	1.9	0.4	3.6	0.4	5.8	0.4	7.3	0.4	8.2	0.4	10.5
	Max.	<b>14.05</b> (2014)	12.0	25.8	21.0	70.1	47.0	82.2	45.0	89.3	42.0	134.4	94.0
17778	Min.	0.0	1.0	0.0	1.0	0.1	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.2	1.0
	Av.	0.4	2.4	0.4	3.4	0.4	6.4	0.4	9.1	0.4	9.2	0.3	11.5
	Max.	<b>17.13</b> (2012)	13.0	35.5	17.0	46.0	31.0	70.5	39.0	75.4	42.0	90.2	47.0
17780	Min.	0.0	1.0	0.1	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0
	Av.	0.4	2.0	0.4	4.4	0.4	7.6	0.4	8.9	0.4	10.8	0.3	23.7
	Max.	<b>12.08</b> (1989)	9.0	18.1	18.0	43.5	37.0	49.5	38.0	45.8	39.0	83.2	124.0
17806	Min.	0.1	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0
	Av.	0.4	1.9	0.4	3.6	0.4	5.8	0.4	7.4	0.4	7.7	0.4	11.7
	Max.	<b>18.9</b> (2014)	12.0	32.3	16.0	38.7	31.0	43.6	45.0	47.5	45.0	62.1	51.0
17808	Min.	0.0	1.0	0.0	1.0	0.1	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0
	Av.	0.4	2.1	0.4	3.3	0.4	5.3	0.4	6.7	0.4	11.1	0.4	17.2
	Max.	<b>22.97</b> (2018)	24.0	36.1	24.0	45.9	28.0	55.1	36.0	67.3	53.0	137.6	85.0

## 5. Conclusion

The study analyzed data from seventeen meteorological stations in the Murat River Basin using the SPI method, revealing a lack of rainfall with severe droughts occurring in 2014 and 2018. The study conducted on 17 precipitation stations in the Murat River Basin used the Wallis and Moore homogeneity test, Mann-Kendall trend analysis test to analyze monthly precipitation data sets, using 95% and 90% confidence intervals. The Mann-Kendall test showed a decreasing trend in monthly precipitation data from 17 Murat River basin stations. A total of 18 temperature stations throughout the Murat River Basin were used to collect the monthly temperature data series. There have been two tests performed on these temperature data series: the Wallis and Moore homogeneity test, the Mann-Kendall trend analysis test in order to analyze these data series, 90% and 95% confidence intervals were used. The results have showed us that a rising trend in temperature data from 18 stations except for station 4025 which shows no trend, with most showing a rise in temperature. The data homogeneity calculated by the Wallis and Moore test was not significant factors in determining the trend.

The results of this research, which were based on data collected from stations in the Murat River Basin, showed that there was a rising trend in temperature data as well as drought in the precipitation data of the previous years for the SPI 1, SPI 3, SPI 6, SPI 9, SPI 12, and SPI 24-month periods.

Drought negatively impacts socioeconomic life by reducing water resources, soil moisture, and other factors. [31];[32]. A study using data from Murat River Basin stations found a rising trend in temperature data and drought in precipitation data. This suggests that rising temperatures and decreasing precipitation will lead to a decline in water supply in the Murat River Basin in the future. The findings recommend that competent authorities take significant measures to address the issue and ensure the safety of the water supply.

## References

- [1] C. Sagan, W. R. Thompson, R. Carlson, D. Gurnett, and C. Hord, "A search for life on Earth from the Galileo spacecraft," *Nature*, vol. 365, no. 6448, pp. 715-721, 1993.
- [2] J. R. Westmacott and D. H. J. J. o. H. Burn, "Climate change effects on the hydrologic regime within the Churchill-Nelson River Basin," vol. 202, no. 1-4, pp. 263-279, 1997.
- [3] J. Peñuelas and M. J. T. i. p. s. Staudt, "BVOCs and global change," vol. 15, no. 3, pp. 133-144, 2010.
- [4] M. White, A. Smith, K. Humphries, S. Pahl, D. Snelling, and M. Depledge, "Blue space: The importance of water for preference, affect, and restorativeness ratings of natural and built scenes," *Journal of Environmental Psychology*, vol. 30, no. 4, pp. 482-493, 2010, doi: 10.1016/j.jenvp.2010.04.004.
- [5] J. J. R. o. p. i. p. Houghton, "Global warming," vol. 68, no. 6, p. 1343, 2005.
- [6] D. A. Wilhite and M. H. Glantz, "Understanding: the drought phenomenon: the role of definitions," *Water international*, vol. 10, no. 3, pp. 111-120, 1985.
- [7] H. Aksoy *et al.*, "SPI-based drought severity-duration-frequency analysis," in *13th International Congress on Advances in Civil Engineering, Izmir/Turkey*, 2018.
- [8] L. Kurnaz, "Drought in Turkey," *Istanbul Policy Center, Sabancı Üniversitesi-İstanbul*, 2014.
- [9] V. Gumus, Y. Avsaroglu, and O. Simsek, "Streamflow trends in the Tigris river basin using Mann-Kendall and innovative trend analysis methods," *Journal of Earth System Science*, vol. 131, no. 1, p. 34, 2022.
- [10] M. I. Yuce and M. Esit, "Drought monitoring in Ceyhan basin, Turkey," *Journal of Applied Water Engineering and Research*, vol. 9, no. 4, pp. 293-314, 2021.
- [11] M. İ. YÜCE *et al.*, "SPI ve SPEI ile Samsun İli Kuraklık Analizi," *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, vol. 25, no. 3, pp. 285-295, 2022.

- [12] R. Yadav, S. Tripathi, G. Pranuthi, and S. Dubey, "Trend analysis by Mann-Kendall test for precipitation and temperature for thirteen districts of Uttarakhand," *Journal of Agrometeorology*, vol. 16, no. 2, pp. 164-171, 2014.
- [13] M. Ç. Karabörk, E. Kahya, and A. Ü. J. H. P. A. I. J. Kömüşçü, "Analysis of Turkish precipitation data: homogeneity and the Southern Oscillation forcings on frequency distributions," vol. 21, no. 23, pp. 3203-3210, 2007.
- [14] M. Firat, F. Dikbas, A. C. Koç, and M. J. S. Gungor, "Missing data analysis and homogeneity test for Turkish precipitation series," vol. 35, pp. 707-720, 2010.
- [15] W. A. Wallis and G. H. J. J. o. t. A. S. A. Moore, "A significance test for time series analysis," vol. 36, no. 215, pp. 401-409, 1941.
- [16] P. E. McKight and J. J. T. c. e. o. p. Najab, "Kruskal-wallis test," pp. 1-1, 2010.
- [17] M. G. Kendall, "Rank correlation methods," 1948.
- [18] F. Wang *et al.*, "Re-evaluation of the power of the mann-kendall test for detecting monotonic trends in hydrometeorological time series," vol. 8, p. 14, 2020.
- [19] T. B. McKee, N. J. Doesken, and J. Kleist, "The relationship of drought frequency and duration to time scales," in *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, 1993, vol. 17, no. 22: Boston, pp. 179-183.
- [20] H. Wu, M. J. Hayes, A. Weiss, and Q. J. I. J. o. C. A. J. o. t. R. M. S. Hu, "An evaluation of the Standardized Precipitation Index, the China-Z Index and the statistical Z-Score," vol. 21, no. 6, pp. 745-758, 2001.
- [21] D. Halwatura, A. Lechner, and S. Arnold, "Drought severity–duration–frequency curves: a foundation for risk assessment and planning tool for ecosystem establishment in post-mining landscapes," *Hydrology and Earth System Sciences*, vol. 19, no. 2, pp. 1069-1091, 2015.
- [22] M. I. Yuçe, M. J. J. o. A. W. E. Esit, and Research, "Drought monitoring in Ceyhan basin, Turkey," vol. 9, no. 4, pp. 293-314, 2021.
- [23] M. I. Yuçe, M. Esit, V. J. J. o. A. W. E. Kalaycioglu, and Research, "Investigation of trends in extreme events: a case study of Ceyhan Basin, Turkey," pp. 1-16, 2022.
- [24] M. Pala and M. İ. J. A. E. J. Yüçe, "Comparative Rainfall-Runoff analysis of the Upper Murat River Basin in Turkey in context of Hydro-Meteorological variables," vol. 75, pp. 479-493, 2023.
- [25] K. Yenigün, V. Gümüş, and H. Bulut, "Trends in streamflow of the Euphrates basin, Turkey," in *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Water Management*, 2008, vol. 161, no. 4: Thomas Telford Ltd, pp. 189-198.
- [26] H. GÜNEK, "MURAT NEHRİ HAVZASININ (FIRAT) SU POTANSİYELİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ," *Doğu Coğrafya Dergisi*, vol. 11, no. 16, pp. 141-163, 2011.
- [27] W. H. Fattah and Y. J. I. J. o. A. İMi, "Hydrological analysis of Murat river basin," vol. 5, no. 5, pp. 47-55, 2015.
- [28] A. Koçyiğit, A. Yılmaz, S. Adamia, and S. Kuloshvili, "Neotectonics of East Anatolian Plateau (Turkey) and Lesser Caucasus: implication for transition from thrusting to strike-slip faulting," *Geodinamica Acta*, vol. 14, no. 1-3, pp. 177-195, 2001/01/01 2001, doi: 10.1080/09853111.2001.11432443.
- [29] N. Avşın, M. K. Erturaç, E. Şahiner, and T. J. Q. Demir, "The Quaternary Climatic and Tectonic Development of the Murat River Valley (Muş Basin, Eastern Turkey) as Recorded by Fluvial Deposits Dated by Optically Stimulated Luminescence," vol. 4, no. 3, p. 29, 2021.
- [30] H. J. D. C. D. GÜNEK, "MURAT NEHRİ HAVZASININ (FIRAT) SU POTANSİYELİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ," vol. 11, no. 16, pp. 141-163, 2011.
- [31] H. Ritchie, M. Roser, and P. J. O. w. i. d. Rosado, "CO<sub>2</sub> and greenhouse gas emissions," 2020.
- [32] M. J. N. R. M. C. B. Chaplin, "Do we underestimate the importance of water in cell biology?," vol. 7, no. 11, pp. 861-866, 2006.

## YOLOV9 İLE KAN HÜCRELERİNİN OTOMATİK TANIMLANMASI: OPTİMİZASYON ve ÖĞRENME ORANI ETKİLERİ

Zehra YÜCEL<sup>1</sup>, Dilber ÇETİNTAŞ<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Necmettin Erbakan Üniversitesi, Seydişehir MYO, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Konya, Türkiye

<sup>2</sup>Turgut Özal Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği A.B.D, Malatya, Türkiye

Geliş Tarihi/Received Date: 10.11.2023 Kabul Tarihi/Accepted Date: 30.04.2024 DOI: 10.54365/adyumbd.1388891

### ÖZET

Kanda yer alan kan hücrelerinin mikroskopik incelenmesi zaman alıcı, pahalı ve hataya açık bir işittir. Bu çalışmanın amacı, kan hücresi görüntülerini kullanarak kan hücresi tiplerinin sınıflandırılması için YOLO mimarisini kullanan otomatik bir sistem geliştirmektir. Çalışmada kullanılan BCDD veri seti, 364 kan hücresi görüntüsü ve 4888 etiketli görüntüden oluşmaktadır. Açık kaynaklı BCCD veri seti, kırmızı kan hücrelerini (RBC'ler), beyaz kan hücrelerini (WBC'ler) ve trombositleri içerir. Geliştirilen senaryoda YOLOv9 mimarisi, farklı optimizasyon algoritmaları, öğrenme oranları kullanılarak hiperparametrelerin tanımlama sürecindeki etkisi gözlemlendi. Tanımlama sonuçlarını karşılaştırırken en iyi sonuca, 0,001 öğrenme oranıyla ADAMW optimizasyon algoritması kullanılarak ulaşıldı. Genel olarak kan hücresi tiplerinin sınıflandırılmasında WBC tanımlamasında 1,0'a yakın sonuç elde edildi. Daha sonra RBC tanımlaması yaklaşık olarak 0,93 doğrulukla elde edilirken trombositler 0,96 doğrulukla tanımlandı. Bu sonuçlar, önerilen sistemin kan hücresi tanımlamasının manuel sürecini otomatikleştirmeye yönelik etkili bir araç olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Kan Hücresi Tespiti, Derin Öğrenme, Yolov9, Optimizasyon, Öğrenme Oranı.

## AUTOMATIC IDENTIFICATION OF BLOOD CELLS WITH YOLOV9: OPTIMIZATION AND LEARNING RATE EFFECTS

### ABSTRACT

Microscopic examination of blood cells in blood is time-consuming, expensive and error-prone. The aim of this study is to develop an automatic system using YOLO architecture for classification of blood cell types using blood cell images. The BCDD dataset used in the study consists of 364 blood cell images and 4888 labeled images. The open-source BCCD dataset includes red blood cells (RBCs), white blood cells (WBCs), and platelets. In the developed scenario, the YOLO v9 architecture, different optimization algorithms, and learning rates were used to observe the effect of hyperparameters in the parameter definition process. When comparing the identification results, the best result was achieved using the ADAMW optimization algorithm with a learning rate of 0.001. Overall, a result close to 1.0 was obtained in the WBC classification for blood cell types. Subsequently, the RBC identification was achieved with an accuracy of approximately 0.93, while platelets were identified with an accuracy of 0.96. These results indicate that the proposed system could be used as an effective tool for automating the manual process of blood cell identification.

**Keywords:** Blood Cell Detection, Deep Learning, Yolov9, Optimization, Learning Rate.

e-posta<sup>1</sup> : [zkarhan@erbakan.edu.tr](mailto:zkarhan@erbakan.edu.tr) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2863-9119>

\* e-posta<sup>2</sup> : [dilber.cetintas@ozal.edu.tr](mailto:dilber.cetintas@ozal.edu.tr) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0710-2280> (Sorumlu Yazar)

## 1. Giriş

Yaşamsal fonksiyonların sürdürülmesinde önemli rol oynayan kan, hayati önem taşıyan canlı bir sıvıdır. Vücut ağırlığımızın yaklaşık %8' ini oluşturan kan hücresi türleri ve kandaki değerler sağlığımız açısından büyük önem taşır. Bu doğrultuda, kan değerleri ile insan sağlığı arasında doğrudan bir ilişki bulunmaktadır. Çeşitli hastalık türlerinin belirlenmesinde, hastalığın ilerlemesinin izlenmesinde ve potansiyel sağlık durumlarının analiz edilmesinde kan testleri önemlidir. Kan test sürecinde kan hücrelerinin türü ve sayısına dikkat edilmektedir. Bu analiz ile sağlık durumu hakkında bilgi edinilmektedir [1,2].

Başlıca kan hücresi türleri olarak; kırmızı kan hücrelerini (RBC), beyaz kan hücrelerini (WBC) ve trombositleri sayabiliriz. RBC'ler kana kırmızı rengini veren hücrelerdir. İçeriklerindeki hemoglobin ve eritrositler sayesinde kana oksijen taşıma görevini yerine getirirler. WBC'ler ise esnek şekillere sahip çekirdekli kan hücreleridir. Lökositlerin içeriği, organizmayı bakterilere, virüslere ve diğer zararlı ajanlara karşı koruyarak hayati savunma fonksiyonlarını yerine getirmelerini sağlar. WBC'ler bağışıklık sisteminin işlevinde ve yanıtında önemli bir rol oynar. Trombositler ise trombokinaz enziminin salgılanması nedeniyle morfolojik değişikliklere uğrayan, yapışkanlık gösteren, renksiz, çekirdekli hücrelerdir. Salgıladıkları trombokinaz enzimi nedeniyle morfolojik değişiklikler ve yapışkanlık gösterirler, bu da onları kan pıhtılaşması için gerekli kılar. Örneğin, bir yaralanma durumunda trombositler pıhtılaşma ajanı görevi görerek yaranın kapanmasına ve onarılmasına yardımcı olur [2-5].

İnsan sağlığını doğrudan etkileyen kan hücresi türlerinin manuel olarak belirlenmesi önemli zorluklar doğurmaktadır. Özellikle yoğun ve zaman alıcı süreç personel için zorlu olabilir ve sonuçlar, ilgili kişilerin uzmanlığı, becerileri ve deneyimine bağlı olarak değişiklik gösterebilir [6]. Bu nedenle, hem sağlık profesyonelleri hem de kendilerini bekleyen hastalar için sonuçları hızlandırmak amacıyla bu prosedürlerin otomatikleştirilmesi önemle tavsiye edilir. Önerilen bu çözümün uygulanmasının laboratuvarlardaki iş yükünü hafifletmesi ve hastane personelinin verimliliğini artırması bekleniyor.

Kan hücresi tiplerinin sınıflandırılması, kan testi sürecinde önemli bir zorluk teşkil etmekte ve literatürde bu sorunu ele alan çok sayıda çalışmanın yapılmasına yol açmaktadır. Bu çalışmaları görüntü işleme ve makine öğrenmesi yöntemleri ile derin öğrenmeye dayalı yöntemler olarak sınıflandırabiliriz. Diğer alanlarda olduğu gibi sağlık alanında da son yıllarda derin öğrenme üzerine yapılan çalışmaların sayısı giderek artıyor. Kan hücrelerinin sınıflandırılması ve tanımlanması gibi çeşitli görevler için derin öğrenme yöntemleri kullanılmıştır [7,8]. Kan hücrelerinin sınıflandırılması tıbbi teşhiste çok önemli bir görevdir. Literatür gözden geçirildiğinde, evrimsel sinir ağları (CNN'ler) tekniği olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. CNN'lerin uygulanmasının ardından sınıflandırma aşamasında hücre tipi ayrımı için çeşitli yöntemlerden yararlanılmaktadır.

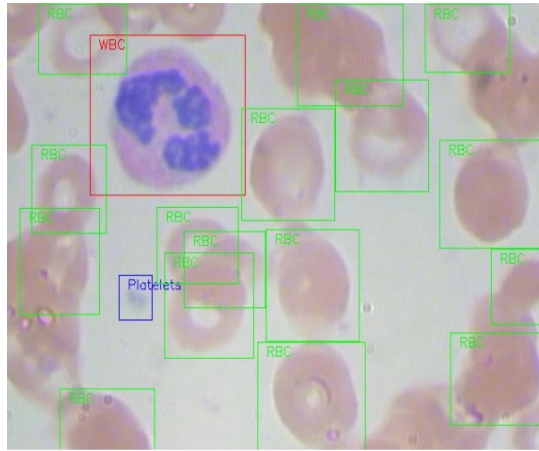
Beş farklı kan hücresi tipinin (kırmızı kan hücreleri, trombositler, nötrofiller, lenfositler ve monositler) sınıflandırılması problemi için Habibzadeh ve ark. CNN önerdi. Önerilen modelin test veri setini %92,6 doğrulukla sınıflandırdığı görülmüştür [9]. Benzer şekilde Vatathanavaro ve ark. CNN mimarisi tabanlı ResNet-50 ve VGG-16 modellerini kullanarak beş farklı sınıfa ait kan hücrelerinin sınıflandırılması sorununu ele aldı: kırmızı kan hücreleri, trombositler, nötrofiller, lenfositler ve monositler. Test veri setinde ResNet-50 %96,52 doğruluk elde ederken VGG-16 %97,57 doğruluk elde etti [10]. Beyaz kan hücrelerini dört farklı türe (nötrofiller, eozinofiller, monositler ve lenfositler) sınıflandırma görevi için Diouf ve ark. 12.500 görüntüden oluşan bir veri seti üzerinde eğitilmiş bir CNN modeli kullandılar ve test veri setinde %95,48 başarı oranı elde ettiler [11]. Beyaz kan hücresi tiplerinin sınıflandırılmasına odaklanan başka bir çalışmada Zaho ve ark. WBC tespitini ve ardından CNN ile sınıflandırmayı gerçekleştirdi. WBC için %94,6'lık bir tanıma doğruluğuna ve %91,7'lik bir sınıflandırma doğruluğuna ulaştılar [12]. Özyurt, kan hücresi türlerini ayırt etmek için özellik seçimini kullanan bir CNN modeli önerdi ve kan hücresi görüntülerinden oluşan bir veri kümesinde %97,14 genel doğruluk elde etti [13].

Çeşitli çalışmaların sonuçları incelendiğinde, kan hücresi türlerinin otomatik olarak tanınmasının ve sınıflandırılmasının dikkate değer bir etkinlik gösterdiği ortaya çıkıyor. Bu sorunu çözmek için genellikle CNN tabanlı modeller kullanılır. CNN mimarisinin doğasında bulunan kendi kendine öğrenme yeteneği, başarısına büyük ölçüde katkıda bulunan çok önemli bir özellik olarak kabul edilir. Bu aşamada derin öğrenme ile tespit işleminde hangi parametrenin daha belirleyici olacağını bilmek sonuçlara daha hızlı ve doğru şekilde ulaşılmasını sağlayacaktır. Bu da sonuç olarak, eğitim işlemini ve modellerin performansını doğrudan etkiler.

Bu çalışmada, kan hücresi tiplerinin otomatik teşhisi için derin öğrenme kullanılmış olup, otomatik teşhis sistemleri için yardımcı bir sistem sunulmuştur. Otomatik teşhis amaçlanırken YOLOv9 mimarisi kullanılıp mevcut parametreleri üzerinde değişiklik gerçekleştirilerek hangi parametrelerin sınıflandırmada daha etkin olduğu gözlemlendi. Optimizasyon algoritması ADAMW ve öğrenme oranı 0,001 seçildiğinde en başarılı sonuçlara ulaşıldı.

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada kan hücrelerinin tespiti, halka açık Kan Hücresi Sayımı Veri Seti (BCCD)[14] kullanılarak gerçekleştirilmiştir. BCCD veri seti üç farklı sınıfa ayrılan 364 görüntüden oluşur: WBC (beyaz kan hücreleri), RBC (kırmızı kan hücreleri) ve Plateletler (trombositler). Görüntülerin boyutları 640x480 pikseldir. Bu 364 görüntü ve üç sınıf için 4888 etiket (annotation) içermektedir. Bu etiketlerin 4155'i RBC, 372'si WBC ve 361'i platelet etiketine aittir [14]. Şekil 1, etiketleri (veri açıklamaları) belirtilmiş örnek bir görüntü yer almaktadır. Farklı kan hücre türlerinin tespit edilip tanımlanması için veri seti %80' i eğitim, %20 test olacak şekilde ayrılır.



Şekil 1. Etiket içeren örnek bir resim

### 2.1. Metot ve Parametreler

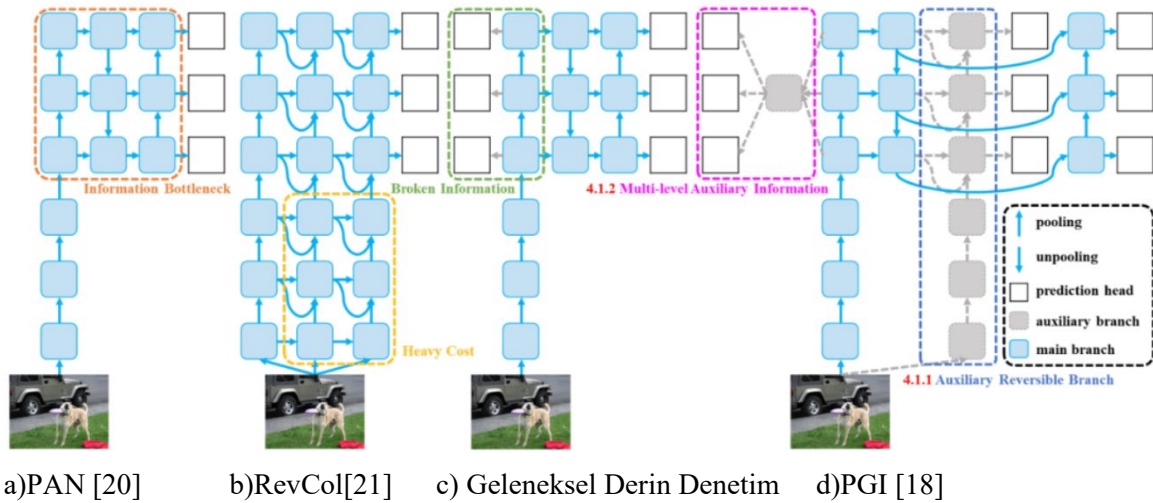
Nesne tespiti, bir görüntü içindeki nesnelerin uzamsal konumunun tanımlanmasını ve ilgili sınıf etiketlerinin belirlenmesini içerir. Kullanım alanı oldukça yaygın olmakla birlikte bilgisayarlı görüde öne çıkan bir araştırma alanıdır. Donanım yeteneklerindeki ilerlemelerle birlikte derin öğrenme algoritmalarının kullanımında ve yeni tekniklerin geliştirilmesinde artış yaşanmıştır.

Son yıllarda özellikle nesne tespiti alanında önemli bir popülerlik kazanan YOLO algoritması dikkat çeken tekniklerden biridir. YOLO, tüm görüntünün tek geçişte işlenmesi yaklaşımını yansıtan "Yalnızca Bir Kez Bak" anlamına gelir. YOLO, uçtan uca evrişimli sinir ağı mimarisini kullanarak nesne tespitini bir regresyon problemi olarak formüle eder. Bu yaklaşım, bir görüntüdeki birden fazla nesnenin etkili ve eş zamanlı tespitini sağlar [15].

YOLO'nun performansı, COCO veri seti üzerinde kapsamlı bir şekilde değerlendirilerek bölge bazlı nesne algılama algoritmalarına kıyasla üstünlüğünü ortaya koymuştur [16]. Ayrıca YOLO, hem görüntüleri hem de bunlara karşılık gelen sınıfları kodlayan tek bir ağ uygulaması sayesinde yüksek verimlilik elde eder. Algoritmanın dikkat çekici hızı, özellikle gerçek zamanlı uygulamalarda yaygın olarak benimsenmesine katkıda bulunmaktadır.

YOLO'nun temel çalışma prensibi, giriş görüntüsünün tek adımda bir sinir ağı üzerinden geçirilmesini ve aynı zamanda görüntü üzerinde bir ızgara (segmentasyon) oluşturulmasını içerir. İlgilenilen bir nesne bir ızgara içinde mevcutsa ve orta noktası bu bölgenin içindeyse, algoritma nesnenin genişliğini, yüksekliğini ve karşılık gelen sınıf etiketini belirler. Bazı durumlarda ilgilenilen nesne birden fazla ızgaraya yayılabilir. Bu sorunu çözmek için, gereksiz sınırlayıcı kutuların oluşturulmasını önlemek amacıyla bir güven değeri kullanılır. Daha sonra nesneyi kapsayan en yüksek güven değerine sahip sınırlayıcı kutuyu çizmek için "Maksimum Olmayan Bastırma" algoritması kullanılır [17].

YOLO algoritmasının birden fazla versiyonu mevcut olup Şubat 2024'te yayınlanan YOLO' nun en son sürümü YOLOv9 kullanılmıştır [18]. Programlanabilir Gradyan Bilgisi (PGI), bilgi darboğazı sorunuyla mücadele etmek için YOLOv9'da tanıtılan yeni bir kavramdır ve derin ağ katmanlarında temel verilerin korunmasını sağlar. Bu, güvenilir gradyanların oluşturulmasına olanak tanıyarak doğru model güncellemelerini kolaylaştırır ve genel algılama performansını iyileştirir [18,19]. Şekil 2, yayınlanan makalede yer alan PGI ya ilişkin ağ mimarileri ve yöntemlerini gösteren yapı yer almaktadır [18].



**Şekil 2.** PGI ve İlgili Ağ Mimarileri. (a) Path Aggregation Network (PAN) [20], (b) Reversible Columns (RevCol) [21], (c) Geleneksel Derin Denetim ve (d) önerilen Programmable Gradient Information (PGI). [18]

Eğitim sırasında ayarlanabilen hiperparametrelerden eğitim işlemini etkiler ve değerleri eğitim süreci başlamadan önce ayarlanabilmektedir. YOLOv9 ağının tasarlanması ve eğitilmesinde hiperparametreler iki gruba ayrılabilir. İlk grup, katman sayısı, filtreler ve giriş görüntülerinin boyutu dahil olmak üzere ağ mimarisi hiperparametrelerinden oluşur. İkinci grup, toplu iş boyutu, öğrenme oranı ve optimizasyon algoritması gibi eğitim hiperparametrelerini içerir [18].

YOLOv9'in yaklaşık otuz hiperparametresi vardır ve bunları farklı eğitim ayarlarına göre ayarlamak, nesne tanımanın doğruluğunu ve öğrenme oranını optimize etmek için kullanılabilir. Hiperparametreler sonucu önemli ölçüde etkileyebileceğinden, belirli bir görev için doğru olanları seçmek önemlidir [22].

Bu çalışmada YOLOv9 ağının iki eğitim hiper parametresine odaklanıldı: optimizasyon algoritması ve öğrenme oranı. Bu iki parametre eğitim sürecinde kritik bir rol oynar ve modelin



yakınsama oranını, kararlılığını ve nihai doğruluğunu etkiler. Optimizasyon algoritması, eğitim sırasında model parametrelerinin nasıl güncelleneceğini belirlerken öğrenme oranı, güncelleme işleminin adım boyutunu kontrol eder. Farklı optimizasyon algoritmalarının ve öğrenme oranlarının sonuç üzerindeki etkilerini karşılaştırarak, bunların YOLOv9 ağına performansı üzerindeki etkilerini araştırmak hedeflendi. YOLO mimarilerinde sıklıkla SGD (Stochastic Gradient Descent), ADAM (Adaptive Moment Estimation), ADAMW (Adam with Weight Decay) optimizasyon algoritmaları tercih edildiği için bu algoritmalar kullanıldı [23-25].

## 2.2. Performans Metrikleri

Performans değerlendirmesini yapabilmek için karmaşıklık matrisi kullanıldı. Bu matriste satırlar gerçek sınıfları sütunlar tahmin edilen sınıflandırmaları belirtmektedir. Değerlendirme metriklerini ölçebilmek için  $tp$  (doğru pozitif),  $tn$  (doğru negatif),  $fp$  (yanlış pozitif),  $fn$  (yanlış negatif) değerleri kullanılır.

**Kesinlik (Precision; P):** Tahmin edilenler arasında pozitif olarak belirlenen verilerin toplam pozitif sayısına oranı olarak tanımlanmaktadır. Kesinlik değerinin hesaplanması denklem 1'de verilmiştir.

$$Kesinlik = \frac{tp}{tp+fn} \quad (1)$$

**Duyarlılık (Recall; R):** Pozitif olarak tahmin edilmesi gereken verilerden gerçekte pozitif olarak tahmin edilen veri sayısı ile ilgili bilgi vermektedir. Duyarlılık değerinin hesaplanması denklem 2' de belirtilmiştir.

$$Duyarlılık = \frac{tp}{tp+fp} \quad (2)$$

**F1-Skor:** Kesinlik ve duyarlılık hesaplarının harmonik ortalaması ile hesaplanmaktadır. 0-1 arasında değerler almakta olup, 1 en iyi sonuca ulaşıldığını belirtmektedir. F1 skor değerinin hesaplanması denklem 3' te verilmiştir.

$$F1\ Skor = \frac{2tp}{2tp+fp+fn} \quad (3)$$

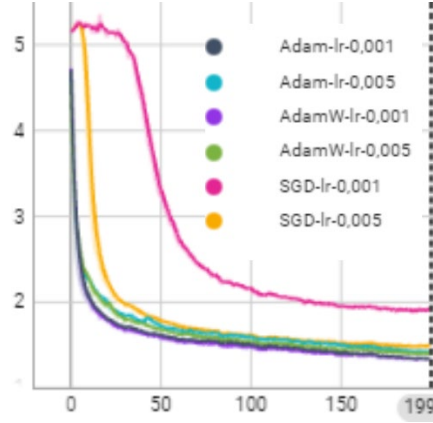
**Ortalama Kesinlik Ölçütü (Mean Average Precision; mAP):** Nesne tespit modellerinde algoritmaları daha kapsamlı değerlendirmek için kullanılan önemli bir metriktir. Farklı her nesne sınıfı için ayrı ayrı AP değeri hesaplanarak bu değerlerin ortalaması alınarak mAP değeri hesaplanmaktadır.

## 3. Sonuçlar

Bu çalışmada, Kan Hücreleri Sayımı Veri Kümesinden (BCCD) üç ayrı kategoriye ayrılan görüntülerin analizini gerçekleştirildi. Nesne algılama görevi için YOLOv9 modeli kullanıldı ve eğitim sırasında SGD (Stochastic Gradient Descent), ADAM, ADAMW optimizasyon algoritmaları ve 0,001, 0,005 öğrenme oranları kullanıldı. Farklı optimizasyon ve öğrenme oranı kombinasyonları için, yatay eksen boyunca dönem sayısı ve dikey eksen boyunca kayıp değerinden oluşan sonuç verileri kaydedildi. Literatürdeki çalışmalarla en çok tercih edilen öğrenme oranları ile algoritmalar tercih edildi.

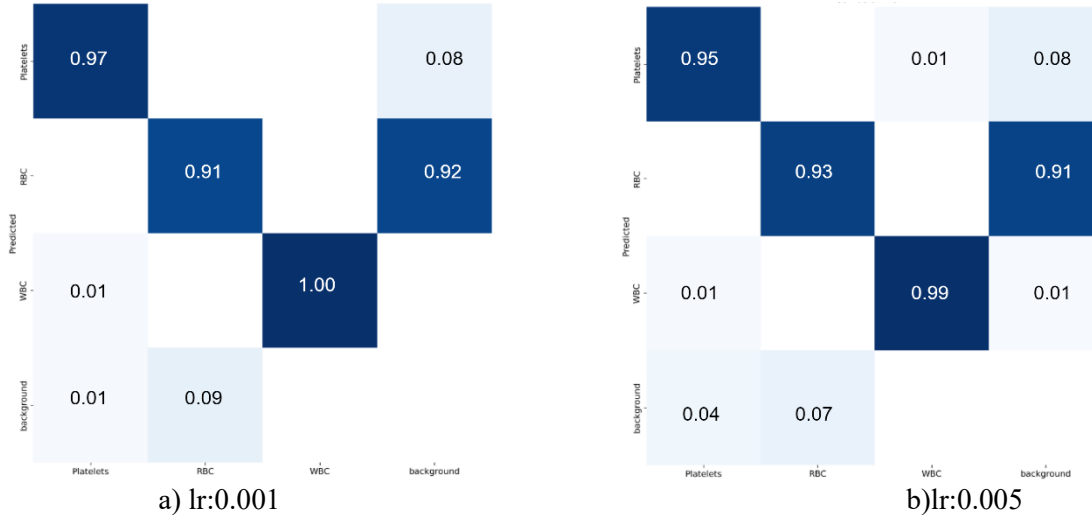
Şekil 3'te sunulan bulgularımız, en düşük kayıp değerine 0,001 öğrenme oranıyla ADAMW optimizasyon algoritması kullanılarak ulaşıldığını gösterdi. Bu sonuçlar, YOLOv9'in hiperparametre optimizasyonunun, nesne algılama görevlerinde doğruluğun artırılmasında faydalı olabileceğini

göstermektedir. Kayıp eğrisi incelendiğinde burada SGD optimizasyon algoritmasının 0,001 öğrenme oranındaki öğrenme işleminde diğer algoritmaların gerisinde kalmaktadır. Fakat bununla birlikte SGD algoritmasının 0,005 öğrenme oranı ile eğitim işleminde diğer algoritmalara yakın sonuçlar vermektedir. Buradan optimizasyon algoritması kadar öğrenme oranının da performansı etkilediği görülür.



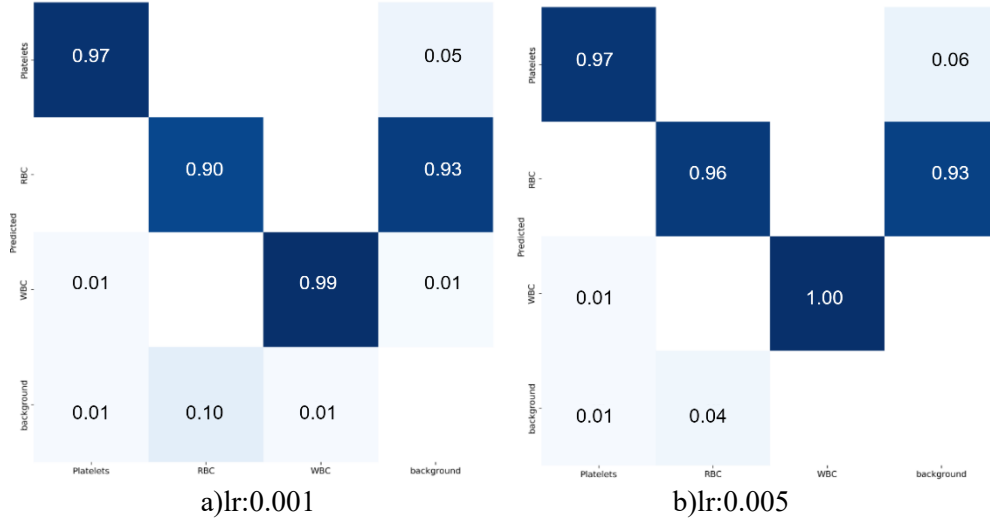
Şekil 3. YOLOv9 Kayıp Eğrisi

Bu çalışma değerlendirme aşamasında eğitilen ağın performansını değerlendirmek için model test verilerine uygulanmıştır. Sonuçlar daha sonra üç etiketli kan hücre tipi için karmaşıklık matrisi oluşturmak için kullanıldı. Farklı öğrenme oranlarının tespit performansı üzerindeki etkisini araştırmak için ADAM optimizasyon algoritmasıyla birlikte 0,001 ve 0,005 olmak üzere iki farklı öğrenme oranı kullanıldı. Şekil 4'te sunulan karmaşıklık matrisi, öğrenme oranının trombositlerin ve WBC'lerin tespit doğruluğu üzerinde nispeten minimum etkiye sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Ancak RBC kan grubunun tespitinin, 0,001 öğrenme oranı kullanıldığında daha doğru olduğu görüldü.



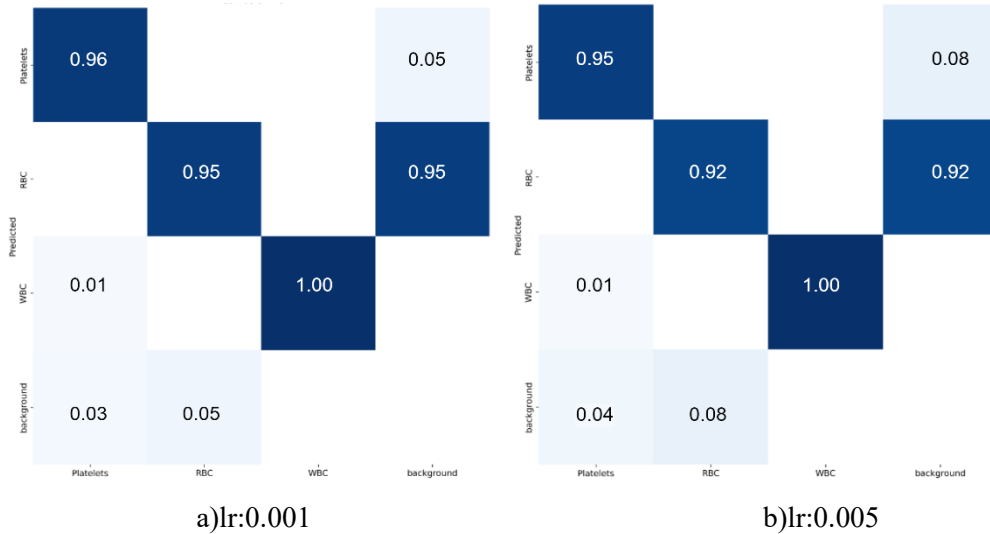
Şekil 4. ADAM algoritmasının öğrenme oranlarıyla ilişkili karmaşıklık matrisi. a) lr:0.001 b) lr:0.005

YOLOv9 modelinin kan hücresi tespiti için performans değerlendirmesi, farklı öğrenme oranları ve SGD optimizasyon algoritması kullanımının sonuçlarına dayalı bir karmaşıklık matrisi oluşturularak daha ayrıntılı analiz edildi. Şekil 5'deki sonuçlar incelendiğinde; WBC ve RBC türlerinin tespit doğruluğunun öğrenme oranı seçiminden etkilendiğini, trombosit tespitinin ise etkilenmediği görülür.



Şekil 5. SGD algoritmasının öğrenme oranlarıyla ilişkili karmaşıklık matrisi. a)lr:0.001 b)lr:0.005

ADAMW optimizasyon algoritmasının sonuçlarına dayalı karmaşıklık matrisi analiz edildiğinde trombositlerin ve RBC türlerinin tespit doğruluğunun öğrenme oranı seçiminden etkilendiğini, WBC tespitinin ise etkilenmediği Şekil 6'da görülür.



Şekil 6. ADAMW algoritmasının öğrenme oranlarıyla ilişkili karmaşıklık matrisi. a)lr:0.001 b)lr:0.005

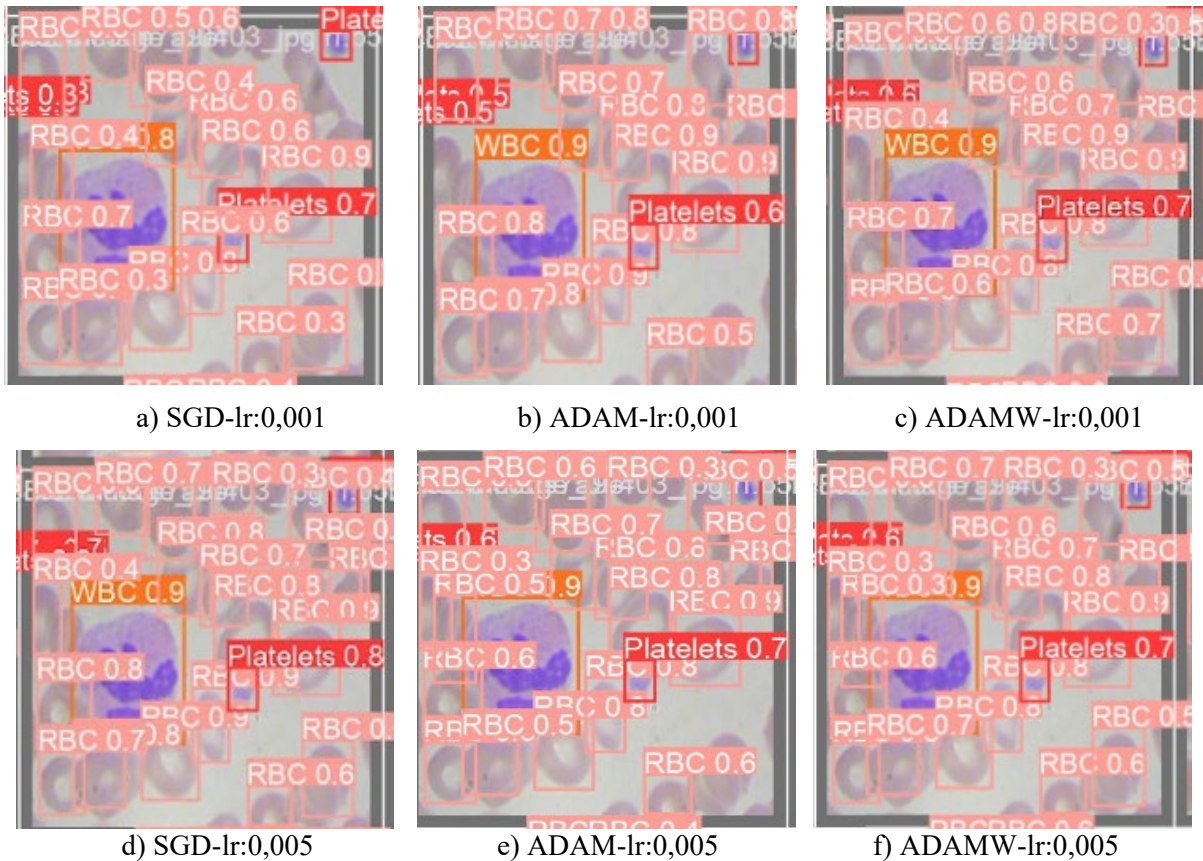
Spesifik olarak, 0,001'lik bir öğrenme oranı, RBC'ler için tespit doğruluğunun arttığını gösterirken, 0,005'lik bir öğrenme oranında SGD ve ADAM için trombosit tespiti daha yüksek doğrulukla sonuçlanırken ADAMW algoritmasında tam tersi söz konusudur. Algoritmanın WBC'leri tespit etme performansı farklı öğrenme oranlarında nispeten tutarlıydı.

Sonuçlar, optimum tespit performansını elde etmek için eğitim sırasında hiperparametrelerin ayarlanmasının önemini vurgulamaktadır. Bu bulgular, kan hücresi tespiti için nesne tanıma algoritmalarının performansını geliştirmeyi ve iyileştirmeyi amaçlayan araştırmacılar ve uygulayıcılar için değerli bilgiler sağlar.

Bu çalışmanın temel amacı, Kan Hücreleri Sayımı Veri Setinde (BCCD) nesne tespitinin doğruluğunu artırmak için en uygun optimizasyon algoritması ve öğrenme oranı kombinasyonunu bulmaktır. Değerlendirme: duyarlılık, kesinlik, mAP@0.5, mAP@0.5:0.95 değerleri ölçülerek gerçekleştirildi. Sonuçlar, farklı optimizasyon algoritmalarının ve öğrenme oranlarının performansını özetleyen değerler Çizelge 1'de sunuldu.

**Çizelge 1.** YOLOv9 ile hücre tipi tespitinde optimizasyon ve öğrenme oranlarının performans sonuçları

Optimizasyon Alg.	Öğrenme Oranı	Duyarlılık	Kesinlik	mAP@0.5	mAP@0.5:0.95	F1-Skor
SGD	0,001	0.837	0.903	0.901	0.586	0.868
SGD	0,005	0.834	0.901	0.913	0.652	0.866
ADAM	0,001	0.838	0.903	0.919	0.659	0.869
ADAM	0,005	0.848	0.901	0.916	0.661	0.874
ADAMW	0,001	0.853	0.914	0.927	0.665	0.882
ADAMW	0,005	0.842	0.911	0.92	0.659	0.875



**Şekil 7.** Aynı test görüntülerindeki farklı optimizasyon ve öğrenme oranlarına ilişkin tahmin Görüntüleri a) SGD-lr:0,001 b) ADAM-lr:0,001 c) ADAMW-lr:0,001 d) SGD-lr:0,005 e) ADAM-lr:0,005 e) ADAMW-lr:0,005

Eğitilen YOLOv9 modelinin kan hücrelerinin farklı tiplerini tespit etme performansını değerlendirmek amacıyla test verilerine uygulandı. Sonuçlar tespit doğruluğu ve mAP değeri açısından analiz edilmiş olup, karşılık gelen tespit görüntüsü ve mAP değeri Şekil 7'de gösterilmektedir. Şekil 7'de, kan hücre tiplerinin tespitinin doğruluğunun görüntüler arasında farklılık gösterdiği ve belirli kan hücre tiplerinin daha yüksek mAP değeri ile tespit edildiği görülmektedir. İlk olarak WBC tespitinin öğrenme oranının 0,001 (lr:0,001) olduğunda ADAM ve ADAMW algoritmasının daha yüksek doğrulukla (0,9) tespit ettiği görülür. Fakat öğrenme oranı 0,005 (lr:0,005) olduğunda bütün optimizasyon algoritmalarının aynı mAP değeri ile tespit ettiği görülür. Bununla birlikte bazı RBC tespitinin öğrenme oranından bağımsız şekilde ADAMW algoritması tarafından tespit edildiği görülürken SGD ya da ADAM algoritmasının tespit edmediği görülür.

Bu çalışmada kan hücrelerinin görüntülerindeki kan türlerini tespit etmek için YOLOv9 derin öğrenme algoritması kullanıldı. YOLOv9 algoritmasında farklı optimizasyon algoritmalarının ve öğrenme oranlarının etkinliği deneylerle araştırıldı. Öğrenme oranı 0,001 ve ADAMW optimizasyon algoritmasının F1-Skor değeri için en iyi performansı ürettiği gözlemlenmiştir. Bir sonraki en başarılı durum ADAMW optimizasyonu ve 0,005 öğrenme oranı hiperparametreleriyle oluşmuştur. Kan hücre türlerinin sınıflandırılmasında en önemli optimizasyon algoritması ADAMW olmuştur. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda optimizasyona ek olarak kullanılan öğrenme oranı da sonuçlar üzerinde oldukça etkili rol oynamıştır.

Boyut ve renk farklılığı olan WBC'lerin arka plandan ayrıştırılmasında daha başarılı olunurken yakın görsel değerlere sahip RBC'ler ve Trombositlerde karışıklık yaşanmış olup bu hücrelerin başarı oranlarını düşürmüştür. YOLO'nun son versiyonu olan YOLOv9 mimarisinin temel parametrelerinin değişimi ile sonuçlarının iyileştirilebileceği gösterilmiş olup daha sonra yapılacak çalışmalar için rehber niteliğindedir. Otomatik hücre türünün tespiti için önerilen bu sistem ilerleyen zamanlarda mikroskop altında farklı boyama seçenekleriyle daha iyi sonuçlara ulaştırılabilir.

Eğitilen model, test veri seti kullanılarak değerlendirildi ve sonuçlar, farklı kan hücre tipleri için tespit doğruluğunda farklılıklar olduğunu, bazı kan hücre tiplerinin ise hiç tespit edilmediğini gösterdi. Tespit doğruluğundaki tutarsızlıklar, aydınlatma koşullarındaki değişiklikler, kan hücrelerinin farklı açıları ve görüntü arka planının karmaşıklığı gibi faktörlere bağlanabilir. Bu doğrultuda, tüm kan türlerinin tespitinin doğruluğunu artırmak için daha fazla iyileştirme yapılması ihtiyacını vurgulamaktadır.

Bu çalışmanın sonuçları gözden geçirildiğinde, tıbbi görüntü analizi uygulamalarında kan hücresinin farklı türlerinin tespitinin doğruluğunu ve etkinliğini artırmak için değerli bilgiler sağladığı açıkça ortaya çıkıyor. Çeşitli optimizasyon algoritmalarının performansı ve öğrenme oranları, YOLOv9 kullanılarak otomatik kan grubu tanımlama bağlamında karşılaştırıldı. Bu bulgular, bu alanda çalışan diğer araştırmacılara değerli bilgiler sunarak, farklı algoritmalar arasındaki performansı değerlendirmelerine ve karşılaştırmalarına olanak sağlayabilir. Ayrıca otomatik kan hücresi türlerini belirlenmesine yardımcı sistem olarak kullanılması bu alanda zaman ve iş gücü tasarrufu da sağlayabilir. Bu çalışmaya ilave uygulamalar ve geliştirmeler yapılarak çeşitli alanlarda kullanılabilir. Bu çalışmanın hasta ve sağlık personeli açısından genel kapsamı göz önüne alındığında geniş bir kitleye fayda sağlama potansiyeli taşıdığı ve bu konuda ilerlemesinin sağlık alanında ilerlemelere katkı sağlayabileceği değerlendirilmektedir.

### **Çıkar Çatışması Beyanı**

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

## Kaynaklar

- [1] Alberts, B. (2017). Molecular biology of the cell. Garland science.
- [2] Alomari, Y. M., Sheikh Abdullah, S. N. H., Zaharatul Azma, R., & Omar, K. (2014). Automatic detection and quantification of WBCs and RBCs using iterative structured circle detection algorithm. Computational and mathematical methods in medicine, 2014.
- [3] Faggio C, Sureda A, Morabito S, Sanches-Silva A, Mocan A, Nabavi SF, Nabavi SM. Flavonoids and platelet aggregation: A brief review. European journal of pharmacology. 2017 Jul 15;807:91-101.
- [4] Farag MR, Alagawany M. Erythrocytes as a biological model for screening of xenobiotics toxicity. Chemico-biological interactions. 2018 Jan 5;279:73-83.
- [5] Rezaatofghi SH, Soltanian-Zadeh H. Automatic recognition of five types of white blood cells in peripheral blood. Computerized Medical Imaging and Graphics. 2011 Jun 1;35(4):333-43.
- [6] Acharjee, S., Chakrabarty, S., Alam, M. I., Dey, N., Santhi, V., & Ashour, A. S. (2016, March). A semiautomated approach using GUI for the detection of red blood cells. In 2016 International conference on electrical, electronics, and optimization techniques (ICEEOT) (pp. 525-529). IEEE.
- [7] Arslan, Özkan, and Mustafa Karhan. "Effect of Hilbert-Huang transform on classification of PCG signals using machine learning." Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences (2022).
- [8] Yaman, O., & Tuncer, T. (2022). Exemplar pyramid deep feature extraction based cervical cancer image classification model using pap-smear images. Biomedical Signal Processing and Control, 73, 103428.
- [9] Habibzadeh, Mehdi, Adam Krzyżak, and Thomas Fevens. "White blood cell differential counts using convolutional neural networks for low resolution images." International Conference on Artificial Intelligence and Soft Computing. Springer, Berlin, Heidelberg, 2013.
- [10] Vatathanavaro, Supawit, Suchat Tungjitnob, and Kitsuchart Pasupa. "White blood cell classification: a comparison between VGG-16 and ResNet-50 models." proceeding of the 6th joint symposium on computational intelligence (JSCI6). Vol. 12. 2018.
- [11] Diouf, Daouda, et al. "Convolutional Neural Network and decision support in medical imaging: case study of the recognition of blood cell subtypes." arXiv preprint arXiv:1911.08010 (2019).
- [12] Zhao, Jianwei, et al. "Automatic detection and classification of leukocytes using convolutional neural networks." Medical & biological engineering & computing 55.8 (2017): 1287-1301.
- [13] Özyurt, Fatih. "A fused CNN model for WBC detection with MRMR feature selection and extreme learning machine." Soft Computing 24.11 (2020): 8163-8172.
- [14] BCCD Veri seti. [https://github.com/Shenggan/BCCD\\_Dataset](https://github.com/Shenggan/BCCD_Dataset) (Erişim tarihi: Şubat 2024).
- [15] Redmon, Joseph, et al. "You only look once: Unified, real-time object detection." Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. 2016.
- [16] Lin, Tsung-Yi, et al. "Microsoft coco: Common objects in context." European conference on computer vision. Springer, Cham, 2014.
- [17] Shinde, Shubham, Ashwin Kothari, and Vikram Gupta. "YOLO based human action recognition and localization." Procedia computer science 133 (2018): 831-838.
- [18] Wang CY, Yeh IH, Liao HY. YOLOv9: Learning What You Want to Learn Using Programmable Gradient Information. arXiv preprint arXiv:2402.13616. 2024 Feb 21.
- [19] YOLOv9. <https://docs.ultralytics.com/tr/models/yolov9/> (Erişim Tarihi, Mart,2024).
- [20] Liu S, Qi L, Qin H, Shi J, Jia J. Path aggregation network for instance segmentation. In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition 2018 (pp. 8759-8768).
- [21] Cai Y, Zhou Y, Han Q, Sun J, Kong X, Li J, Zhang X. Reversible column networks. arXiv preprint arXiv:2212.11696. 2022 Dec 22.

- [22] Lin, Tsung-Yi, et al. "Microsoft coco: Common objects in context." European conference on computer vision. Springer, Cham, 2014.
- [23] Bottou L. Large-scale machine learning with stochastic gradient descent. In Proceedings of COMPSTAT'2010: 19th International Conference on Computational Statistics Paris France, August 22-27, 2010 Keynote, Invited and Contributed Papers 2010 (pp. 177-186). Physica-Verlag HD.
- [24] Kingma DP, Ba J. Adam: A method for stochastic optimization. arXiv preprint arXiv:1412.6980. 2014 Dec 22.
- [25] Loshchilov I, Hutter F. Decoupled weight decay regularization. arXiv preprint arXiv:1711.05101. 2017 Nov 14.



# BURÇ, CONTA VE RULMAN UYGULAMALARI İÇİN SAF POLİ-TETRA-FLOR-ETİLEN VE BRONZ TAKVİYELİ POLİ-TETRA-FLOR-ETİLEN KOMPOZİTİN TRİBOLOJİK PERFORMANSLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

**Ahmet MASLAVI<sup>1</sup>, Hüseyin ÜNAL<sup>2\*</sup>, Salih Hakan YETGİN<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye

<sup>2</sup>Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye

<sup>3</sup>Tarsus Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Tarsus/Mersin, Türkiye

Geliş Tarihi/Received Date: 24.11.2023 Kabul Tarihi/Accepted Date: 29.04.2024 DOI: 10.54365/adyumbd.1395652

## ÖZET

Bu çalışmada, endüstrinin çeşitli sektörlerinde makinelerde sıkça kullanılan hidrolik piston contaları, salmastra ve keçeler gibi polimerlerden üretilen malzemelerin tribolojik performansları incelenmiştir. Tribolojik çalışmada saf poli-tetra-flor-etilen (PTFE) polimeri ile ağırlık olarak %25 oranında bronz takviyeli poli-tetra-flor-etilen (PTFE/25bronz) kompozit kullanılmış ve her iki malzemenin tribolojik performansları karşılaştırılmıştır. Tribolojik deneyler disk üzerinde pim olacak şekilde dizayn edilmiş aşınma cihazında gerçekleştirilmiştir. Tribolojik deneyler 30N-150N yük aralığında ve 1.0 m/s kayma hızında yapılmıştır. Deneylerde sürtünme katsayısı, aşınma hacmi, pim/disk yüzey sıcaklıkları ve spesifik aşınma oranı ölçülmüştür. Çalışma sonucunda PTFE/25 bronz kompozitin sürtünme katsayısı, pim/disk yüzey sıcaklığı ve aşınma oranı saf PTFE'ye daha düşük olduğu tespit edilmiştir. PTFE polimerine %25 bronz ilavesi kompozitin spesifik aşınma oranında önemli oranda azalmaya sebep olmuştur. Taramalı elektron mikroskobu ve optik mikroskop kullanılarak numunelerin aşınma yüzey mikroyapı incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Saf PTFE polimerinde abrasif aşınma, PTFE/bronz kompozitinde ise adhezif aşınma mekanizması gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** PTFE, Bronz, Kompozit, Aşınma oranı, Sürtünme katsayısı

## COMPARISON OF TRIBOLOGICAL PERFORMANCES OF PURE POLY-TETRA-FLUORO-ETHYLENE AND BRONZE REINFORCED POLY-TETRA-FLUORO-ETHYLENE COMPOSITE FOR BUSHING, GASKET AND BEARING APPLICATIONS

### ABSTRACT

In this study, the tribological performances of materials produced from polymers such as hydraulic piston seals, glands and seals, which are frequently used in machines in various sectors of the industry, were investigated. In the tribological study, pure poly-tetra-fluoro-ethylene (PTFE) and 25wt.% bronze reinforced poly-tetra-fluoro-ethylene (PTFE/25bronze) were used and the tribological performances of both materials were compared. Tribological tests were realised on a pin-on-disc wear test rig. Tribological experiments were performed in the load range of 30N-150N and sliding speed of 1.0 m/s. Friction coefficient ( $\mu$ ), wear volume, pin/disk surface temperatures and specific wear rate (SWR) were measured. As a result, it was observed that the  $\mu$ , pin/disk surface temperature and SWR of PTFE/25bronze composite were lower than pure PTFE. The addition of 25wt.% bronze to the PTFE caused a significant reduction in the SWR of the composite. Optical and scanning electron microscopy were used to examine the wear surface microstructure of the samples. Abrasive wear mechanism was observed in pure PTFE and adhesive wear mechanism in PTFE/bronze composite.

**Keywords:** PTFE, Bronze, Composite, Wear rate, Friction coefficient

e-posta<sup>1</sup> : [ahmad.abdulkarim@ogr.sakarya.edu.tr](mailto:ahmad.abdulkarim@ogr.sakarya.edu.tr) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9571-0640>

\* e-posta<sup>2</sup> : [unal@subu.edu.tr](mailto:unal@subu.edu.tr) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0521-6647> (Sorumlu Yazar)

\* e-posta<sup>2</sup> : [shyetingin@gmail.com](mailto:shyetingin@gmail.com) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6068-9204>



## 1. Giriş

Politetrafloroetilen (PTFE), termoplastikler sınıfında yer alan bir floropolimerdir. PTFE, monomer tetra-flor-etilenden (TFE) polimerize edilmektedir ve formülasyonunda  $[(CF_2-CF_2)_n]$  moleküler formülüne sahip C-F bağına sahiptir. PTFE, flor atomları nedeniyle yüksek moleküler ağırlıklı bir bileşiktir ve yarı kristal yapıya sahiptir. Güçlü C-F bağı nedeniyle herhangi bir başka bileşik ile reaksiyona giremez. Kompozit formda yüksek termal iletkenlik, mukavemet, hidrofobiklik ve kimyasal inertlik gibi pek çok özellik PTFE tarafından ortaya konulmaktadır [1-3]. PTFE polimerinin erime sıcaklığı 325 ile 335 °C aralığında olduğundan dolayı yüksek termal dirence ve yüksek çalışma sıcaklığına sahip termoplastikler arasında yer alır. PTFE polimeri fiziksel ve kimyasal özelliklerinden dolayı endüstriyel alanlarda fonksiyonel bir polimerik malzeme olarak kabul edilmektedir. PTFE, yağlama, yatak bilyaları ve polimerik dişliler gibi mekanik ve tribolojik kullanımlar açısından önemli bir mühendislik polimeridir [4-6]. PTFE'nin dielektrik özelliği, kablo kaplamaları, elektrik yüklerini depolamak için elektretler ve baskılı devre kartlarının yapımı gibi yalıtım uygulamalarında da kullanılmaktadır [7-8].

Bu avantajlı özellikleri nedeniyle PTFE polimeri, otomotiv endüstrisindeki sürtünme ünitelerinde mekanik bileşen olarak kullanılabilir. Bununla birlikte, çoğu durumda saf PTFE polimerinin kolayca aşınabilir olması yani düşük aşınma direncine sahip olması sürtünmeye maruz kalan alanlarda kullanımını engellemektedir [9-10]. Karbon, grafit, bronz, molibden disülfid ( $MoS_2$ ), cam elyaf, karbon elyaf gibi dolgu maddeleri sayesinde aşınma direnci büyük ölçüde iyileşmektedir [4, 8, 11-12]. Khan ve arkadaşları [13] %25 oranında cam elyaf takviyeli PTFE kompozitlerin pim-disk aşınma cihazında tribolojik özelliklerini incelemişlerdir. Tatyana ve arkadaşları [9] yaptıkları diğer bir çalışmada %1-10 arasındaki oranlarda karbon elyaf takviyeli zeolit/PTFE kompozitlerin tribolojik özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmaları sonucunda, düşük sürtünme katsayısı değerleri elde edilirken aşınma direncinin zeolit/PTFE kompozitine göre yaklaşık 8-10 kat arttığını belirtmişlerdir. Pathan ve arkadaşları [14] %15 ve %20 oranlarında cam elyaf takviyeli PTFE kompozitlerin yük, hız ve kayma mesafesine bağlı olarak tribolojik özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmaları sonucunda 3 kg yük, 5.18 m/s kayma hızı, 2 km kayma mesafesinde %15 cam elyaf PTFE kompozitinde aşınma miktarı ve sürtünme katsayısı önemli oranda etkilenmezken PTFE polimeri için ideal parametreler olduğu belirtilmiştir. Şahin ve Mirzayev [15] ağırlıkça %15 oranında cam elyaf, %60 bronz ve %25 karbon katkılı PTFE kompozitlerin kuru ortam şartlarında tribolojik özelliklerini incelemişlerdir. Bronz ve karbon elyaf takviyeli PTFE kompozitlerin cam elyaf takviyeli kompozitlere göre aşınma direncinin azaldığını kayma mesafesi ve yükün artması ile aşınma oranının arttığı belirtilmiştir. Raaj ve arkadaşları [16] molibden disülfid ( $MoS_2$ ) (%2.5, 7.5, 12.5, 17.5, 22.5 oranında) ve %2.5 oranında grafit ilaveli PTFE polimer kompozitlerinin tribolojik davranışlarını incelemişlerdir. Çalışmalarında sürtünme katsayısının uygulanan yükün artışına bağlı olarak azaldığı gözlenirken aşınma oranı ise kayma hızının artışı ile azalmıştır. Grafit ve  $MoS_2$  ilavesi ile PTFE kompozitlerin aşınma direncinin önemli oranda azaldığı belirtilmiştir. Zhen ve arkadaşları [10] ise %1-2-5 oranlarında  $MoS_2$  katkılı PTFE kompozitlerin farklı sıcaklıklardaki tribolojik özelliklerini incelemişlerdir. 2 °C ile 250 °C arasındaki test sıcaklıklarında sürtünme katsayısının ve aşınma oranının sırasıyla yaklaşık olarak (0,14–0,19) ve  $(4,18–13,38 \times 10^{-4} \text{ mm}^3/\text{Nm})$  olduğu belirlenmiştir. 200 °C üzerindeki test sıcaklıklarında ise  $MoS_2$  ilaveli PTFE kompozitin sürtünme katsayısının katkısız PTFE'ye göre daha düşük olduğu gözlenirken, ağırlıkça %2 ve %5 oranlarında  $MoS_2$  ilaveli PTFE kompozitlerin aşınma oranı daha düşük elde edilmiştir.

Literatür taraması değerlendirildiğinde, farklı oranlarda karbon, grafit, cam elyaf, karbon elyaf,  $MoS_2$  gibi katkıların PTFE polimerinin sürtünme ve aşınma davranışını etkilediği görülmektedir. Bu deneysel çalışmada ise katkısız PTFE polimeri ile ağırlıkça %25 bronz katkılı PTFE polimer kompozit malzemelerin tribolojik davranışları incelenmiştir. Tribolojik testler pim-disk aşınma test cihazında kurukayma şartları altında ve yaklaşık oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Rulmanlı yataklarda, burç kullanımında milin dönme hızı kullanılan polimer yatağın aşınma ve sürtünme davranışlarını

etkilemekte ve malzemenin çalışma ömrünü belirlemektedir. Bu amaçla tribolojik test şartları olarak 1.0m/s kayma hızı ile 30N, 60N, 100N ve 150N yükler seçilmiştir. Karşı disk malzeme olarak AISI 304 paslanmaz çelik malzeme kullanılmıştır.

## 2. Materyal ve Metod

Aşınma deneylerinde kullanılan saf PTFE polimer ve %25 bronz takviyeli poli-tetra-flor-etilen polimer kompoziti İstanbul'dan bir firmadan 20 mm çapında ve 1000 mm uzunluğunda çubuk formunda temin edilmiştir. Triboloji testleri kuru ortam sıcaklığında dönen disk üzerinde pim (pim-disk) bulunan bir aşınma test cihazında (Şekil 1) yapılmıştır. Aşınma deneyleri için hazırlanan test çubukları, 6 mm çap ve 50 mm uzunluğunda olacak şekilde revolver torna tezgahında tormalanmıştır. Karşı disk malzemesi olarak AISI 304 paslanmaz çelik kullanılırken diskler 8 mm kalınlığında ve 100 mm çapında olacak şekilde önce tormalanmış, taşlanmış ve yüzeyleri parlatılmıştır. Disk malzemesinin yüzey pürüzlülüğü ise yaklaşık 0,26-0,50 Ra aralığında ölçülmüştür.

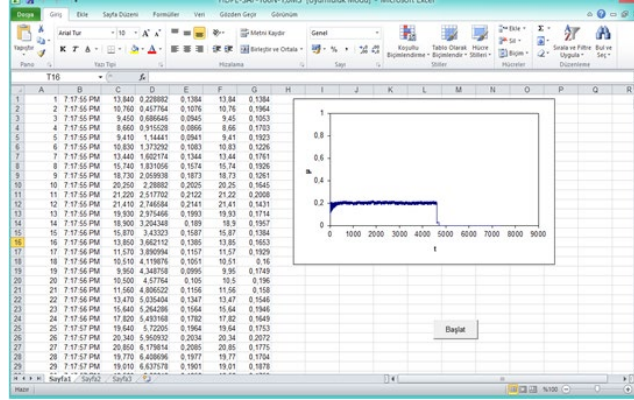


Şekil 1. Pim-disk aşınma test cihazı

Aşınma deneyleri disk üzerinde pim olacak şekilde dizayn edilmiş aşınma test cihazında gerçekleştirilmiştir. Deneyler ASTM G99 standardına uygun olarak yapılmıştır. Sürtünme katsayısı aşağıdaki formül 1 de verilen formülle hesaplanmıştır. Formülde  $\mu$  sürtünme katsayısını,  $F_s$  sürtünme kuvvetini,  $F_N$  ise Normal kuvveti ifade eder.

$$\mu = \frac{F_s}{F_N} \quad (1)$$

$F_s$  kuvveti sürtünme kuvveti olup bir yük hücresi (load-cell) kullanılarak ölçülmüştür. Dakikada yaklaşık 1000 veri alınmış ve bilgisayarda bir excell programına kaydedilmiştir.  $F_s$  kuvveti normal kuvvete ( $F_N$ ) bölünerek elde edilen sürtünme katsayısı- zaman grafiği excell programında aşağıdaki Şekil 2'de verildiği gibi elde edilmektedir.



Şekil 2. Aşınma deneyinde excell formatında elde edilen sürtünme katsayısı-zaman grafiği

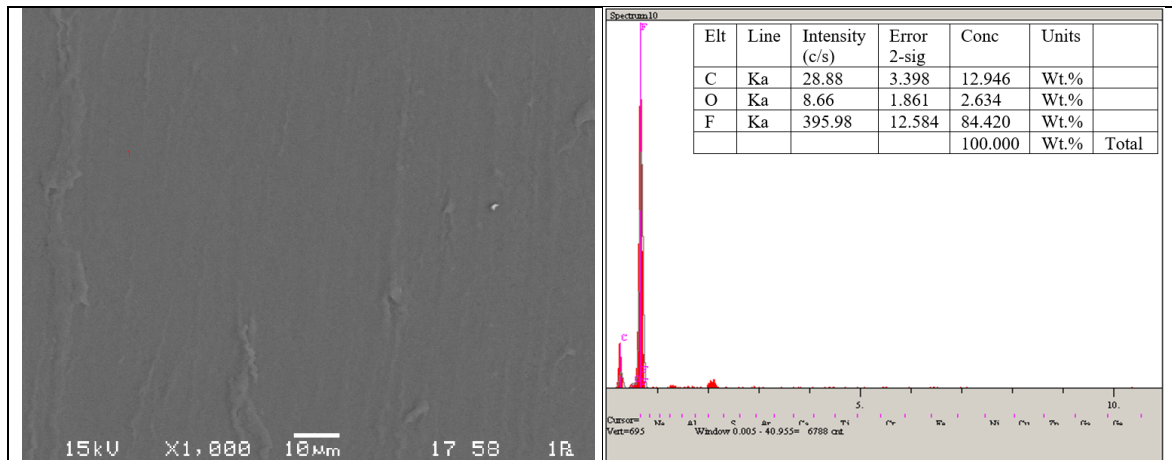
Numunelerin spesifik aşınma oranı ise aşağıda formül 2' de verilen formülle hesaplanmıştır.

$$WR = \frac{\Delta m}{S \cdot \rho \cdot F} \quad (1)$$

Formülde, WR; spesifik aşınma oranını,  $\Delta m$ ; test öncesi ve sonrası hassas terazide ölçülen numunenin malzeme kaybı, S ise kayma yolunu,  $\rho$  numunenin yoğunluğunu, F ise normal yükü ifade etmektedir. Herbir aşınma deneyi öncesinde numunelerin pim ağırlığı ( $m_1$ ) ve aşınma deneyi sonrası pim ağırlığı ( $m_2$ ) 0,0001 g hassasiyetli hassas terazi kullanılarak ölçülmüş ve ağırlık kaybı  $\Delta m$  yani ( $m_1 - m_2$ ) tespit edilmiştir. Formül kullanılarak spesifik aşınma oranı hesaplanmıştır.

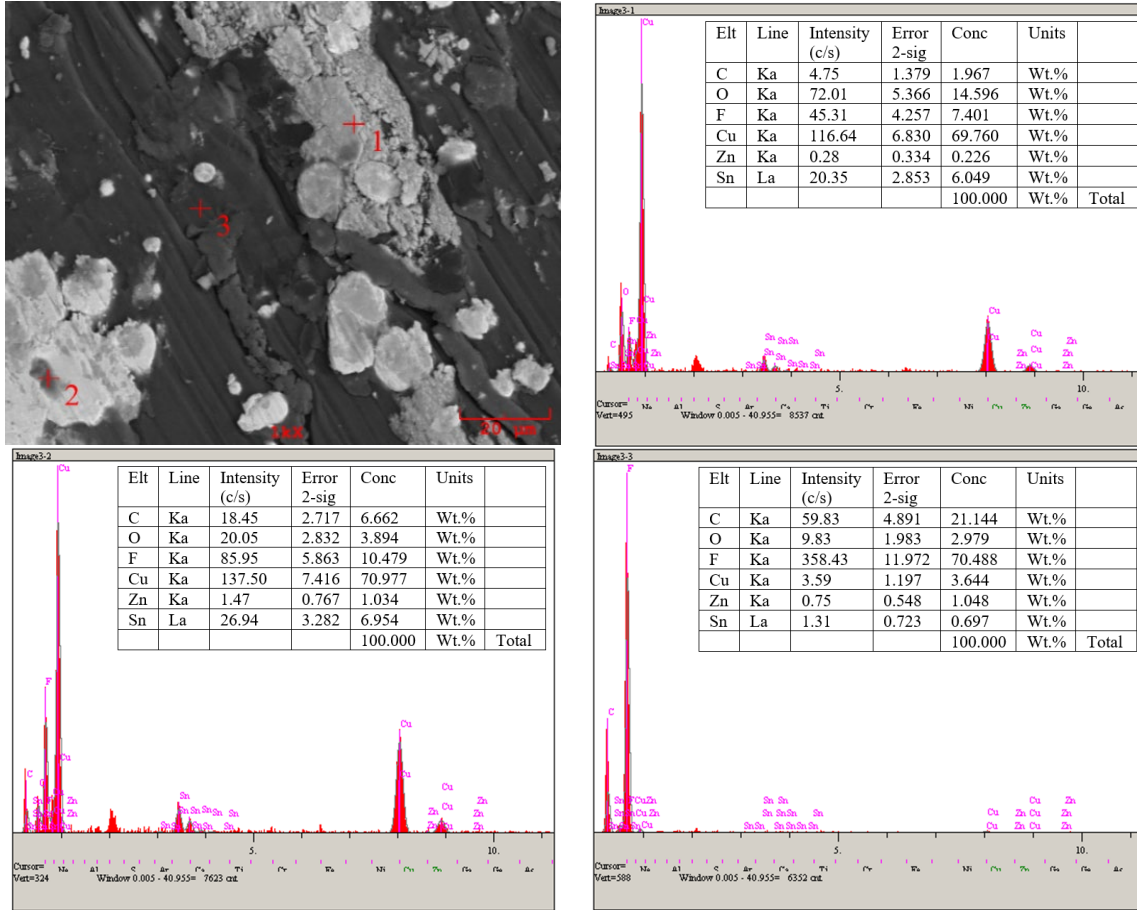
### 3. Deneysel Sonuçlar ve Tartışma

Şekil 3'te saf PTFE polimerine ait taramalı elektron mikroskobunda alınan kırık yüzey görüntüsü ile EDS analizi sonuçları verilmiştir. Şekilde PTFE polimerinin tipik aşınma yüzey görüntüsü görülmektedir.



Şekil 3. Saf PTFE polimerinin kırık yüzey SEM mikroyapı görüntüsü ve EDS analizi

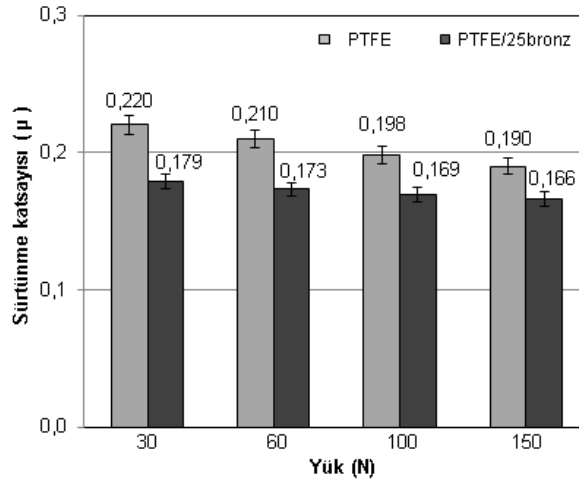
EDS analiz sonucu incelendiğinde yapıda mevcut olan karbon (C) ve oksijen (O) atomlarının yanında ağırlıkça %84,2 oranında Flor (F) elementi bulunmaktadır. Flor elementi PTFE polimerinin yapısında bulunan elementtir. Yani flor elementi malzemenin PTFE polimeri olduğunun kanıtıdır. Şekil 4'te ise %25 bronz katkılı PTFE polimer kompozitinin aşınma yüzeyi SEM görüntüsü verilirken aynı zamanda yüzeyden farklı noktalardan alınan EDS analiz sonuçları verilmiştir. EDS analizine göre PTFE/25Bronz kompozitinde C, O ve F atomları yanında bronzun kimyasal yapısını oluşturan bakır (Cu) ve kalay (Sn) elementlerinin de bulunduğu belirlenmiştir.



Şekil 4. %25 bronz takviyeli PTFE polimer kompozitinin SEM mikroyapısı ve EDS analizi

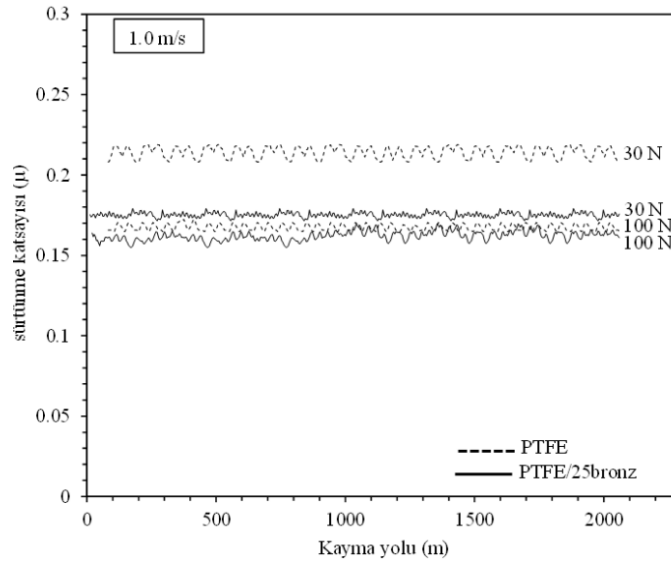
Saf PTFE polimeri ve %25 bronz takviyeli PTFE polimer kompozitinin farklı yükler altındaki sürtünme katsayısı değişimi Şekil 5'te verilmiştir. Şekilde gösterildiği gibi artan yük ile sürtünme katsayısı azalmıştır. Uygulanan yükün 30 N'dan 150 N'a artırılması ile saf PTFE polimerinin sürtünme katsayısı %15,7 oranında azalarak 0,22 değerinden 0,19 değerine ulaşmıştır. Benzer bir etki PTFE/25Bronz kompozit numunesinde elde edilmiş olup sürtünme katsayısı %7,83 oranında azalarak 150 N'da 0,166 olarak elde edilmiştir. Saf PTFE polimerine ilave edilen bronz katkısı ise sürtünme katsayısını önemli oranda azaltmasına sebep olmuştur. Bu azalma, 30 N yük altında %22,9, 60 N yük altında %21,3, 100 N yük altında %17,1 ve 150 N yük altında %14,4 oranında gerçekleşmiştir. Uygulanan yük aralıklarında en düşük sürtünme katsayısı 150 N yük altında PTFE/25Bronz kompozitinde elde edilmiştir. En yüksek sürtünme katsayısı ise 30 N yük altında katkısız PTFE polimerinde elde edilmiştir. Vaibhav ve arkadaşları [17] uygulanan yük ve kayma hızı aralıklarında PTFE kompozitlerin sürtünme katsayılarının katkısız PTFE polimerinden daha düşük olduğunu belirtmişlerdir. Uygulanan basıncın artması ile tüm numunelerde spesifik aşınma oranının arttığı belirtilmiştir. Katkısız PTFE polimerinin düşük mekanik özelliklere sahip olduğu, yüksek aşınma ile karakterize edildiği katkı ve dolgu maddeleri ilavesi ile üretilen kompozitlerin aşınma oranı ve sürtünme

katsayısında önemli bir azalma meydana geldiği belirtilmiştir. Amante ve arkadaşlarının yaptıkları bir çalışmada [18] genel olarak, hem bronz hem de poli-eter-eter-keton (PEEK) dolgulu kompozitlerin kararlı durum sürtünme katsayılarının, cam elyaf ve karbon elyaf katkılı kompozitlere göre karşı yüzeyin topoğrafyasına daha az bağımlı olduğu belirtilmiştir.



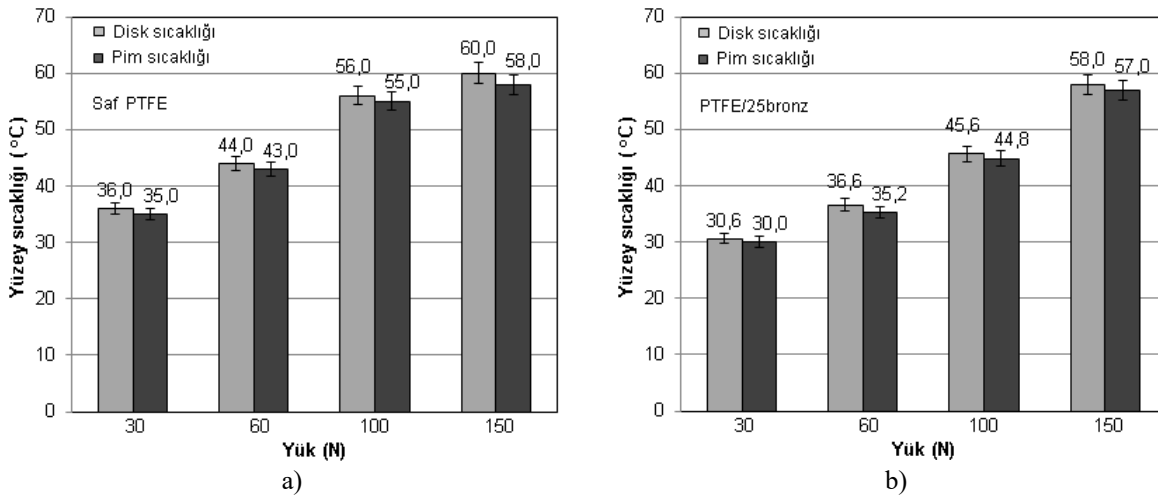
Şekil 5. Saf PTFE polimeri ve %25 bronz takviyeli PTFE polimer kompozitin farklı yükler altındaki sürtünme katsayısı değişimi

Şekil 6'da saf PTFE polimeri ile PTFE/25bronz kompozitin 30N ve 100N yükler altında ve 1,0 m/s kayma hızındaki kayma yolu-sürtünme katsayısı ilişkisi verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi bronz katkılı PTFE kompozitin sürtünme katsayıları saf PTFE polimerinin sürtünme katsayılarına göre daha düşük olduğu gözlenmiştir. Hem saf PTFE polimer hem de bronz katkılı PTFE kompoziti çok kısa sürede stabil hale gelmiştir. PTFE polimeri yumuşak olduğu için test başladığında çok hızlı aşınarak PTFE partikülleri çelik disk yüzeyindeki pürüzlülükleri hızlıca doldurarak ince bir film tabakası oluşmasına sebep olmaktadır. Bu durumun PTFE ve PTFE kompozitin sürtünme katsayılarının daha düşük çıkmasına sebep olduğu düşünülmektedir.



Şekil 6. Saf PTFE polimeri ile %25 bronz takviyeli PTFE polimer kompozitin kayma yolu-sürtünme katsayısı ilişkisi

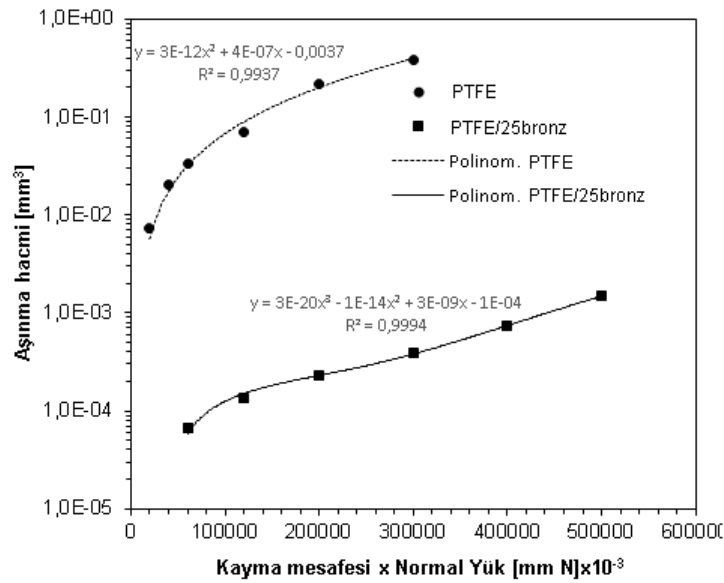
Şekil 7-a'da 1,0 m/s kayma hızında, saf PTFE polimerinin temas noktasından alınan pim ve disk yüzey sıcaklık değerleri verilmiştir. Beklenildiği gibi hem pim hem de disk yüzey sıcaklıkları artan yük ile birlikte doğrusal olarak artmıştır. Disk yüzey sıcaklığı 30 N yük altında 36 °C civarında iken 60, 100 ve 150 N yük altında sırası ile 44, 56 ve 60 °C olarak ölçülmüştür. Benzer şekilde pim yüzey sıcaklıkları da yüke bağlı olarak 35 °C'den 58 °C'ye kadar artmıştır. Uygulanan yüke bağlı olarak saf PTFE polimerinin pim ve disk yüzey sıcaklıkları ortalama %65 civarında artmıştır. Şekil 7-b'de ise PTFE/25bronz kompozitin temas noktasından elde edilen pim ve disk yüzey sıcaklıkları verilmiştir. Şekil 5b'de PTFE/25bronz kompozitin pim ve disk yüzey sıcaklıkları artan yük ile birlikte arttığı ve yüzey sıcaklık değerlerinin 30 °C ile 58 °C arasında değiştiği gözlenmiştir. Uygulanan yükün 30 N'dan 150 N'a artırılması ile pim sıcaklığı %65,7 oranında disk sıcaklığı ise %90 oranında artmıştır. 100 N yük altında, saf PTFE polimerine ilave edilen %25 oranındaki bronz katkısı temas noktasındaki pim ve disk yüzey sıcaklıklarının ortalama %22 oranında azalmasına sebep olmuştur.



Şekil 7. a) Saf PTFE polimerinin ve b) PTFE/25bronz kompozitin farklı yükler altındaki pim ve disk yüzey sıcaklığı değişimi (Kayma hızı: 1.0m/s)

Şekil 8'de saf PTFE polimeri ile %25 bronz takviyeli PTFE polimer kompozitinin kayma mesafesi  $x$  yüke bağlı olarak aşınma hacmi sonuçlarının değişimi verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi kayma mesafesi  $x$  yük değişimine bağlı olarak aşınma hacmi doğrusal olarak artmıştır. Saf PTFE polimerinde başlangıçta aşınma hacmi hızla artış gösterirken daha sonra lineer olarak artış göstermiştir. Saf PTFE polimeri için eğrinin korelasyon katsayısı ( $R^2$ ) 0,9601 olarak belirlenirken PTFE/25bronz kompozitinin eğrisi için ise 0,9592 olarak elde edilmiştir. PTFE'ye ilave edilen bronz gibi dolgu maddelerinin, matris malzeme yüzey altı çatlaklarının yayılmasını azalttığı ve normal yükün bir kısmının katı dolgu maddesine aktarıldığı bilinmektedir [19]. Tribolojik özellikleri uygulanan yük ve kayma hızının yanında etkileyen diğer önemli bir parametre ise çelik disk yüzeyin yüzey pürüzlülüğüdür [20-21]. Yüzey pürüzlülüğünü karakterize etmek için en çok tercih edilen parametre ortalama yüzey pürüzlülüğü değerini ifade eden  $R_a$ 'dır. Menezes ve arkadaşları [22] sürtünme katsayısının yüzey pürüzlülüğü ile önemli oranda değişmediğini belirtmişlerdir. Ancak Zeynep ve arkadaşlarının [21] yaptıkları çalışmada karşı yüzey pürüzlülüğünün normal yük ve kayma hızı koşullarında sürtünme katsayısını etkilediğini ve yüzey pürüzlülüğü düşük olan disklerin sürtünme katsayısının daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Bu durumun ise düşük yüzey pürüzlülüğü durumunda gerçek temas alanının artmasıyla ilişkili olabileceğini belirtmişlerdir. Lloyd ve Noel [23], çok yüksek moleküler ağırlıklı polietilenin (ÇYMAPE) paslanmaz çeliğe ( $R_a:0,1-1,0 \mu m$ ) karşı çalıştığı durumda, disk yüzey pürüzlülüğünün artmasıyla birlikte sürtünme ve aşınmanın arttığını bildirmişlerdir. Golchin ve arkadaşları [24] ise  $R_a:0,08-0,55 \mu m$  yüzey pürüzlülüğüne sahip Inconel 625'e karşı kayan polifenilen sülfid (PPS) kompozitlerin performansı üzerinde karşı yüzey topografyasının etkisini araştırmışlar ve yüksek pürüzlü yüzeyler için daha düşük bir sürtünme katsayısı gözlemlemişlerdir. Quaglini ve arkadaşları [25] tribolojik özelliklerin

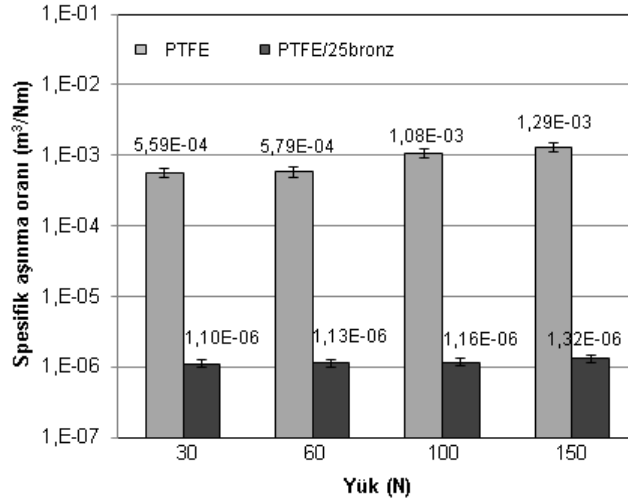
malzemenin özelliklerine bağlı olduğunu ve daha düşük elastiklik modülüne sahip daha yumuşak polimerlerin çok pürüzsüz yüzeylerde (Ra: 0,05-0,10  $\mu\text{m}$ ) daha iyi kayma performansı sergilediğini, yüksek elastik modüle sahip polimerlerin yüksek pürüzlü (Ra:0,10–0,30  $\mu\text{m}$ ) karşı yüzeylerde daha düşük sürtünme gösterdiğini belirtmişlerdir. Karşı disk yüzey pürüzlülüğünün polimerlerin aşınma davranışını ise farklı mekanizmalar ile etkileyebileceğini belirtmişlerdir. Zsidai ve arkadaşları [26] daha pürüzlü yüzeylerle karşılaştırıldığında pürüzsüz yüzeylerde daha düşük aşınma gözlemlemişlerdir. Giltrow ve Lancaster [27] transfer film tabakasının yüzey vadilerini doldurarak karşı yüzeyin yüzey pürüzlülüğünü azalttığını öne sürmüşlerdir. Bu durumun, polimer kompozitteki katkıların/fiberler üzerindeki lokal gerilimlerin büyüklüğünü azalttığını ve yorulma davranışının iyileşerek aşınma oranlarının azalmasına katkı sağladığını belirtmişlerdir. Aynı zamanda, transfer film tabakasının en yüksek yüzey pürüzlülük seviyelerini doldurabileceği kritik bir yüzey pürüzlülüğünün mevcut olduğu ve pürüzlü yüzeylerin film tabakası ile dolması durumunda dahi temas yüzeylerinde bir aşındırıcının olabileceği ve aşınma mekanizmasını etkileyebileceği belirtilmiştir [27-28].



**Şekil 8.** Saf PTFE polimeri ve %25 bronz takviyeli PTFE polimer kompozitinin farklı yükler altındaki aşınma hacmi değişimi

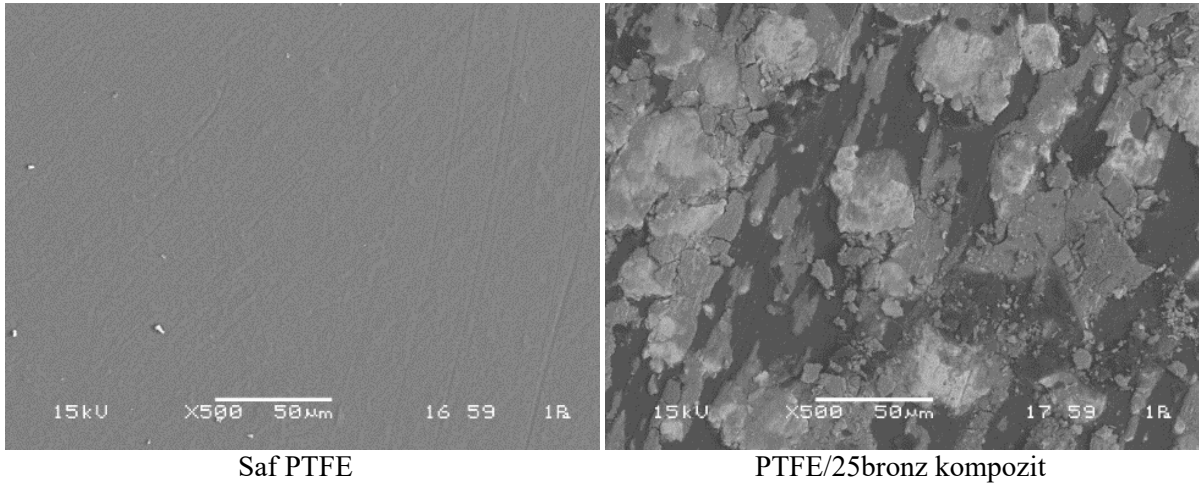
Şekil 9'da ise saf PTFE polimeri ile %25 bronz takviyeli PTFE polimer kompozitinin farklı yükler altındaki aşınma oranı değişimi verilmiştir. Saf PTFE polimerinin spesifik aşınma oranı  $10^{-4}$ - $10^{-3}$   $\text{m}^3/\text{Nm}$  elde edilirken PTFE/25bronz kompozitinin spesifik aşınma oranı  $10^{-6}$   $\text{m}^3/\text{Nm}$  elde edilmiştir. Saf PTFE polimerinin yüke bağlı olarak spesifik aşınma oranı önemli oranlarda artmıştır. Bu artış yükün 30 N'dan 150 N'a çıkarılması ile %130,7 oranında gerçekleşmiştir. PTFE/25Bronz kompozitinde ise yükün artması ile birlikte spesifik aşınma oranı %20 oranında artmıştır. Saf PTFE polimerine ilave edilen %25 oranındaki bronz katkı kompozitinin spesifik aşınma oranını 30 ve 60 N yükler altında ortalama 50 kat, 100 ve 150 N yükler altında ise ortalama 95 kat azaltmıştır. En yüksek spesifik aşınma oranı 150 N yük altında saf PTFE polimerinde elde edilirken en düşük spesifik aşınma oranı ise 30 N yük altında PTFE/25bronz kompozitinde elde edilmiştir. Bronz katkı maddesinin PTFE polimerine ilave edilmesi, PTFE polimer kompozitinin aşınma direncini artırmıştır. Bunun sebebinin PTFE matris bünyesinde gömülü olan ve kompozite ilave dayanım kazandıran bronz katkının varlığı nedeniyle olduğu düşünülmektedir. Çalışılan ortam şartları altında, bronz katkılı PTFE kompozitlerin karbon ve grafit katkılı PTFE kompozitlere göre aşınma oranının daha düşük olduğu yani en iyi aşınma direncine sahip olduğu belirtilmiştir. Kayma sırasında uygulanan yükün ilk olarak bronz katkı tarafından taşındığı ve sonra matris malzeme olan PTFE polimerinin disk üzerinde ince bir yağlayıcı film oluşturarak aşınma direncinin arttığı belirtilmiştir [5]. Federica ve arkadaşları [29] polimer malzemelerin aşınma oranının

seçilen dolgu malzemesinin sertliğinden ziyade dolgu malzemesinin karşı yüzey ile kimyasal afinitesine ve dolgu malzemesinin tribolojik temas esnasında kararlı bir tribo-film oluşturma yeteneğine güçlü bir şekilde bağlı olduğunu belirtmişlerdir.



**Şekil 9.** Saf PTFE polimeri ve %25 bronz takviyeli PTFE polimer kompozitin farklı yükler altındaki aşınma oranı değişimi

Şekil 10'da 150N yük altında ve 1,0 m/s kayma hızında saf PTFE polimeri ile %25 bronz takviyeli PTFE polimer kompozitin aşınmış yüzeylerinden alınan taramalı elektron mikroskobu (SEM) mikroyapı görüntüleri verilmiştir.

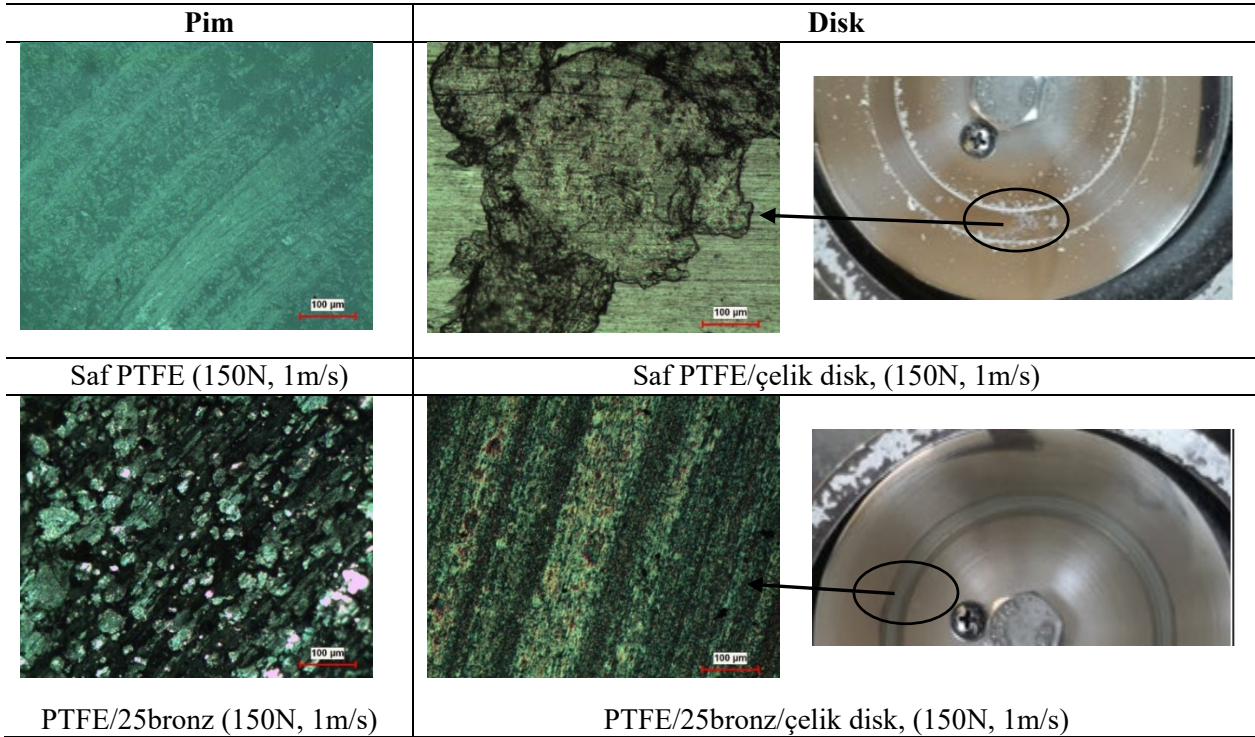


**Şekil 10.** Saf PTFE polimeri ve %25 bronz takviyeli PTFE polimer kompozitin 150 N yük ve 1,0 m/s kayma hızındaki aşınma yüzey taramalı elektron mikroskobu mikroyapı görüntüsü

Şekil 11'de ise aynı yük ve kayma hızındaki AISI 304 paslanmaz çelik disk aşınma yüzeyi optik mikroskop görüntüleri verilmiştir. SEM ve optik mikroskop pim resimlerinde görüldüğü gibi saf PTFE polimerinde kayma yönünde ince ve çok sayıda oyuk adı verilen aşınma izlerinin oluştuğu gözlenmiştir. PTFE/25Bronz kompozit numunesine ait pim resimleri değerlendirildiğinde ise aşınma izlerinin bronz katkı üzerinde oluştuğu gözlenmiştir. Bu durum bronz katkının uygulanan yükü taşıdığı ve yükün bronz katkı üzerinden ana matrise aktarıldığının göstergesidir. Saf PTFE polimeri ve PTFE/25bronz kompozitine ait makro-disk ve mikro-disk resimleri incelendiğinde disk yüzeylerinde ince bir transfer



film tabakasının oluştuğu gözlenmiştir. Oluşan bu transfer film tabakası saf PTFE polimerinde belirli bölgelerde şekillenirken PTFE/25bronz kompozitinde tüm yüzeyde oluştuğu gözlenmiştir. Saf PTFE polimerinde aşınma partikülleri adı verilen ve disk yüzeyine yapışmayan partiküllerin de oluştuğu gözlenmiştir. PTFE esaslı polimer kompozitlerde polimer kompozitin sürtünme yüzeyindeki ve çelik karşı disk yüzeyindeki transfer film tabakasının aşınmanın ve sürtünme katsayısının azaltılmasında önemli ölçüde rol oynadığı yapılan çalışmalarda da belirtilmiştir [5, 9]. Genel olarak değerlendirildiğinde, transfer film tabakasının varlığı ve aşınmış yüzeyin pürüzsüzlüğü, aşınma mekanizmasının deformasyon ve yapışma mekanizmalarını içerdiğini doğrulamaktadır.



**Şekil 11.** Saf PTFE polimeri ve %25 bronz takviyeli PTFE polimer kompozitin 150 N yük ve 1,0 m/s kayma hızındaki aşınma yüzey optik mikroskop mikroyapı görüntüsü

#### 4. Sonuçlar

Yapılan aşınma ve sürtünme deney çalışmalarından aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir.

1. PTFE ana matrisine %25 oranında ilave edilen bronz katkısı PTFE/25bronz kompozitinin sürtünme katsayısı ve aşınma oranda önemli derecede azalmaya sebep olmuştur.
2. Sürtünme katsayısı uygulanan yüke bağlı olarak değişmektedir. Ancak saf PTFE ile kıyaslandığında
3. PTFE/25bronz kompozitinin ortalama sürtünme katsayısı yaklaşık %18.9 oranında daha düşük tespit edilmiştir.
4. Uygulanan yükün 30N'dan 150N'a artırılması ile spesifik aşınma oranı artmıştır. Bu artış oranı saf PTFE polimerinde yaklaşık %130.7 oranında olurken PTFE/25bronz kompozitinde ise aşınma oranı yaklaşık %20 oranında olmuştur.
5. Saf PTFE polimerine %25 oranında bronz partikülleri ilavesi sonucunda kompozitin aşınma direnci saf PTFE ye göre yaklaşık 75 kat artmıştır.

6. PTFE ve PTFE/25bronz kompozitin pim yüzey sıcaklıkları maksimum 57-58 °C olarak tespit edilmiş olup saf PTFE polimerinin camsı geçiş sıcaklığının (~130 °C) altında olduğu tespit edilmiştir.
7. Saf PTFE polimerinde abrazyon aşınma mekanizması gözlenirken PTFE/25bronz kompozitinde adhezyon aşınma mekanizması gözlenmiştir.

### Çıkar Çatışması Beyanı

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

### Teşekkür

Bu çalışma Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri kapsamında 008-2020 proje no ile desteklenmiş olup Yazarlar ilgili Kuruma teşekkür eder.

### Kaynaklar

- [1] Burkarter E, Saul CK, Thomazi F, Cruz NC, Roman LS, Schreiner WH. Superhydrophobic electrosprayed PTFE. *Surface and Coatings Technology* 2007; 202(1): 194–198.
- [2] Pansare PD, Bajaj DS, Aher VS. Tribological behavior of PTFE composite material for journal bearing. Novateur Publication's, *International Journal of Innovation in Engineering, Research and Technology (IJERT)*, *Icitedceme'15 Conference Proceedings 2015*; 1-5.
- [3] Jadhav MB, Abhang LB. Tribological investigation of PTFE filled composite with varying percentage of MoS<sub>2</sub> in bearing application. *International Journal of Advanced Research in Science & Technology (IJARST)* 2020; 20(3): 20-34.
- [4] Yuan XD, Yang XJ. A study on friction and wear properties of PTFE coatings under vacuum conditions. *Wear* 2010; 269: 291–297.
- [5] Ye S, Zeng X. Tribological properties of PTFE and PTFE composites at different temperatures. *Tribology Transactions* 2014; 57(3): 382-386.
- [6] Yavuz K. Role of reinforcement materials on mechanical and tribological properties of PTFE composites. *Polymer Korea* 2020; 44(4): 436-444.
- [7] Xia Z, Wedel A, Danz R. Charge storage and its dynamics in porous polytetrafluoroethylene (PTFE) film electrets. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation* 2003; 10: 102–108.
- [8] Mohammad JK, Wani MF, Rajat G. Tribological properties of bronze filled PTFE under dry sliding conditions and aqueous environments (distilled water and sea water). *International Journal of Surface Science and Engineering* 2018; 12(5/6): 348-364.
- [9] Tatyana SS, Andrey PV, Aitalina AO, Sakhayana ND, Aleksey GA. Mechanical and tribological properties of polytetrafluoroethylene composites modified by carbon fibers and zeolite. *Lubricants* 2022; 10: 4.
- [10] Zhen J, Han Y, Wang H, Jiang Z, Wang L, Huang Y, Jia Z, Zhang R. High temperature friction and wear behavior of PTFE/MoS<sub>2</sub> composites. *Lubricants* 2023; 11: 312.
- [11] Daspute D, Randhavan BM. The tribological properties of ptf composite filled with carbon fiber, MoS<sub>2</sub>, bronze reinforcement. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)* 2023; 10(5): 1697-1601.

- [12] Avinash BA, Nimbalkar SR, Kharde RR, Mhaske MS, Tribological investigation of bronze filled PTFE composite material for journal bearing application. *International Journal of Advance Research and Innovative Ideas in Education* 2016; 2(5): 584-589.
- [13] Khan MJ, Wani MF, Rajat G. Tribological properties of glass fiber filled polytetrafluoroethylene sliding against stainless steel under dry and aqueous environments: enhanced tribological performance in sea water. *Materials Research Express* 2018; 5: 055309.
- [14] Pathan F, Hemant G, Sonam G. Optimization for tribological properties of glass fiber-reinforced PTFE composites with grey relational analysis. *Journal of Materials* 2016; 8981746.
- [15] Şahin Y, Mirzayev H. Wear characteristics of polymer-based composites. *Mechanics of Composite Materials* 2015; 51(5): 543-554.
- [16] Raaj KRA, Sriram S, Harikiran RR, Yenugadhati PD. Experimental investigation on influence of molybdenum content on tribological properties of hybrid PTFE composite. *Emerging Trends in Mechanical Engineering, AIP Conf. Proc.* 2018; 2080: 020017-1–020017-7.
- [17] Vaibhav VN, Bhuibhar AG, Sonwane SA, Raka VB. Tribological behaviour of PTFE and its composites. *Journal of Advances in Science and Technology* 2017; 13(01): 259-266.
- [18] Amenta F, Bolelli G, Pedrazzi S, Allesina G, Santeramo F, Bertarini A, Sassatelli P, Lusvarghi L. Sliding wear behaviour of fibre-reinforced PTFE composites against coated and uncoated steel. *Wear* 2021; 486–487: 204097.
- [19] Tanaka K, Kawakami S. Effect of various fillers on the friction and wear of polytetrafluoroethylene-based composites. *Wear* 1982; 79: 221–234.
- [20] Maria R, Kim B, Fredrik F, Ilia R, Jens H. Influence of counter surface roughness and lay on the tribological behaviour of self-lubricating bearing materials in dry sliding conditions at high contact pressures. *Lubricants* 2022; 10: 167.
- [21] Zeynep P, Shahrad S, Vedat T. The effect of counter-face roughness on the tribological behavior of filled and unfilled PTFE. *Journal of Mechanics Engineering and Automation* 2015; 5: 609-615.
- [22] Menezes, PL, Kishore, Kailas, SV. Influence of surface texture and roughness parameters on friction and transfer layer formation during sliding of aluminum pin on steel plate. *Wear* 2009; 267: 1534-49.
- [23] Lloyd AIG, Noel REJ. The effect of counterface surface roughness on the wear of UHMWPE in water and oil-in-water emulsion. *Tribology International* 1988; 21: 83–88.
- [24] Golchin A, Friedrich K, Noll A, Prakash B. Influence of counter surface topography on the tribological Behaviour of carbon-filled PPS composites in water. *Tribology International* 2015; 88: 209–217.
- [25] Quaglini V, Dubini P, Ferroni D, Poggi C. Influence of counterface roughness on friction properties of engineering plastics for bearing applications. *Materials and Design* 2009; 30: 1650–1658.
- [26] Zsidai L, de Baets P, Samyn P, Kalacska G, van Parys AP. The tribological behaviour of engineering plastics during sliding friction investigated with small-scale specimens. *Wear* 2002; 253: 673–688.
- [27] Giltrow JP, Lancaster JK. The role of the counterface in the friction and wear of carbon fibre reinforced thermosetting resins. *Wear* 1970; 16: 359–374.
- [28] Song J, Liu X, Zhao G, Ding Q, Qiu J. Effect of surface roughness and reciprocating time on the tribological properties of the polyimide composites. *Polymer Engineering and Science* 2019; 59: 483–489.
- [29] Federica A, Giovanni Bolelli, D’Errico F, Filippo O, Simone P, Giulio A, Alessandro B, Pietro P, Luca L. Tribological behaviour of PTFE composites: Interplay between reinforcement type and counterface material. *Wear* 2022; 510-511: 204498.

## TRANSFER ÖĞRENME KULLANILARAK DERİ LEZYON GÖRÜNTÜLERİNDEN MAYMUN ÇİÇEĞİ HASTALIĞININ TESPİTİ

Hüseyin FIRAT<sup>1\*</sup>, Hüseyin ÜZEN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dicle Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, 21280, Türkiye

<sup>2</sup>Bingöl Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Bingöl, 12000, Türkiye

Geliş Tarihi/Received Date: 29.12.2023 Kabul Tarihi/Accepted Date: 30.04.2024 DOI: 10.54365/adyumbd.1411927

### ÖZET

Maymun çiçeği, ağırlıklı olarak Orta ve Batı Afrika'da bulunan ve maymun çiçeği virüsü enfeksiyonundan kaynaklanan viral bir hastalıktır. Bulaşma, enfeksiyon kapmış kişilerle yakın temas yoluyla meydana gelmektedir. Grip benzeri semptomlar ve deri döküntüleri şeklinde kendini göstermektedir. Çoğunlukla su çiçeği veya kızamığa benzer ve dolayısıyla yanlış teşhis riskini arttırmaktadır. Etkili tıbbi müdahale için zamanında ve kesin tanı çok önemlidir. Son zamanlarda, derin öğrenmeye dayalı transfer öğrenme yöntemleri, maymun çiçeğini benzer hastalıklardan doğru bir şekilde ayırt etmek için umut verici bir araç olarak ortaya çıkmıştır. Bu çalışma, tıbbi görüntülerden ilgili özellikleri çıkararak sağlam teşhis modelleri oluşturmak için VGG16, ResNet modelleri, Xception, Inception modelleri, DenseNet121 ve DenseNet201 dahil olmak üzere önceden eğitilmiş evrimsel sinir ağlarından yararlanmaktadır. Bu modelleri değerlendirmek için Kaggle'daki iki sınıftan (MaymunÇiçeği ve diğerleri) oluşan "Maymun Çiçeği Cilt Lezyonu Veri Seti" kullanılmıştır. Deneysel bulgular, DenseNet201 modelinin %95.56'ya ulaşarak en yüksek sınıflandırma doğruluğuna ulaştığını ve mevcut literatürle karşılaştırıldığında etkinliğini öne çıkardığını ortaya koymaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Derin öğrenme, Maymun çiçeği hastalığı, Transfer öğrenimi, Sınıflandırma

## MONKEYPOX DISEASE DETECTION FROM SKIN LESION IMAGES USING TRANSFER LEARNING

### ABSTRACT

Monkeypox is a viral disease predominantly found in Central and West Africa, resulting from infection with the monkeypox virus. Its transmission occurs through close contact with infected individuals, manifesting as flu-like symptoms and skin rashes, often resembling chickenpox or measles, thus increasing the risk of misdiagnosis. Timely and precise diagnosis is crucial for effective medical intervention. Recently, deep learning-based transfer learning methods have emerged as a promising means to accurately differentiate monkeypox from similar diseases. This study leverages pre-trained convolutional neural networks, including VGG16, ResNet models, Xception, Inception models, DenseNet121, and DenseNet201, to create robust diagnostic models by extracting pertinent features from medical images. The "Monkeypox Skin Lesion Dataset" on Kaggle, comprising two classes (Monkeypox and others), was employed to assess these models. Experimental findings revealed that the DenseNet201 model achieved the highest classification accuracy, reaching 95.56%, highlighting its effectiveness when compared to existing literature.

**Keywords:** Deep learning, Monkeypox disease, Transfer learning, Classification

\* e-posta<sup>1</sup> : [hossein.firat@gmail.com](mailto:hossein.firat@gmail.com) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1257-8518> (Sorumlu Yazar)

e-posta<sup>2</sup> : [huzen@bingol.edu.tr](mailto:huzen@bingol.edu.tr) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0998-2130>

## 1. Giriş

Maymun çiçeği virüsünün neden olduğu çiçek hastalığı benzeri bir hastalık olan maymun çiçeği hastalığı, öncelikle Orta ve Batı Afrika'nın yağmur ormanlarında ortaya çıkmıştır [1]. Ancak Mayıs 2022'deki son salgından bu yana birçok ülkeye yayılmış ve küresel bir salgın olma tehdidi oluşturmuştur. Virüs, vücut sıvıları ve solunum damlacıkları ile temas yoluyla bulaşmaktadır. Enfekte kişiler genel olarak birkaç hafta boyunca ateş, şişmiş lenf düğümleri ve vücudun birçok bölgesinde, tipik olarak yüzde, kollarda, bacaklarda, gövdede ve bazen avuç içi ve ayak tabanlarında çok sayıda lezyon döküntüsü gibi tipik semptomlar göstermektedir [2]. Ayrıca baş ağrısı, yorgunluk, kas ağrısı, iştahsızlık ve zihinsel uyanıklıkta değişiklikler gibi nörolojik belirtilere de neden olabilmektedir [3]. Hastalık, etkilenen bireylerin çoğunda kendi kendini sınırlamakta ve sadece semptomatik tedavi gerektirmektedir. Bununla birlikte, mevcut tıbbi rahatsızlıkları olan ve bağışıklık sistemi zayıf olan hastalarda vakaların %3-5'inde ölümle sonuçlanan ciddi tıbbi komplikasyonlar ortaya çıkabilmektedir [4]. Şu anda maymun çiçeği virüsünün tedavisinde kullanılacak spesifik bir ilaç bulunmamaktadır. Bunun yerine, antiviraller ve vaccinia immün globin dahil olmak üzere yetişkinlerde çiçek hastalığının tedavisi için geliştirilen tedaviler, şiddetli maymun çiçeği enfeksiyonunun tedavisi için kullanılmaktadır [5].

Maymun çiçeği hastalığının teşhisi için testler, ABD Gıda ve İlaç Dairesi yönergelerine uygun olarak lezyon örnekleri üzerinde gerçekleştirilmektedir. Örnek almak için lezyon üzerine bir çubuk sürülmekte veya alternatif olarak lezyon kabuğu da örnek olarak alınabilmektedir. Daha sonra bu örnek bir miktar viral taşıma ortamı içine yerleştirilmekte ve polimeraz zincir reaksiyonu (Polymerase Chain Reaction - PCR) test sistemleri kullanılarak maymun çiçeği virüsünün incelenmesi için laboratuvara gönderilmektedir [6]. Ancak PCR testi ile elde edilen sonuçlar, virüsün kanda kısa bir süre kalması nedeniyle yetersiz olabileceğinden kesin değildir [7]. Ayrıca döküntülerin mevcut aşaması, hastanın yaşı, ateş ve lezyon döküntülerinin başlangıç tarihleri gibi ek bilgiler de gerekebilir. Bunun yanı sıra, maymun çiçeğinin teşhis testleri için gereken altyapı kırsal alanlarda da engelleyici bir faktör olabilmektedir [8][9]. Mevcut PCR test yöntemi, teşhis için lezyon örneklerinin alınması, iletilmesi ve test edilmesi sırasında virüsün bulaşma olasılığı yüksek olduğundan, maymun çiçeği virüsüne kişisel olarak maruz kalınmasını gerektirmektedir. Ayrıca, PCR testleri önemli ölçüde zaman almakta ve yanlış negatif sonuçlara da eğilim göstermektedir [10].

Maymun çiçeği tespiti için bilgisayar destekli otomatik sistemler, geleneksel PCR testi ile teşhis yöntemlerine kıyasla çeşitli faydalar sağlayabilmektedir [11]. Böyle bir sistemi geliştirmenin ana motivasyonlarından biri, teşhisin doğruluğunu ve hızını artırmaktır. Maymun çiçeği ateş, döküntü ve solunum sorunları gibi bir dizi belirtiyeye neden olabilen viral bir hastalıktır. Bu semptomlar su çiçeği ve kızamık gibi diğer viral hastalıklarla benzerlik gösterebilmekte ve bu da sağlık çalışanları için teşhisi zorlaştırmaktadır [12]. Yapay zeka, makine öğrenimi ve özellikle derin öğrenme algoritmalarını kullanan otomatik bir sistem, maymun çiçeğine özgü belirli kalıpları ve belirteçleri tanımlamak için büyük miktarda veriyi analiz edebilmekte ve böylece daha doğru bir teşhis sağlayabilmektedir. Ayrıca, otomatik bir sistem maymun çiçeği teşhisi için gereken süreyi kısaltarak hastaların daha hızlı tedavi edilmesine ve izole edilmesine olanak sağlayabilmektedir. Bu, özellikle salgın durumlarında önemlidir, çünkü hızlı tespit ve müdahale hastalığın yayılmasını önlemeye yardımcı olmaktadır [13].

Son yıllarda, maymun çiçeği hastalığını teşhis etmek için derin öğrenme ve özellikle evrişimsel sinir ağlarını (ESA) kullanan çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Sitaula vd. [14] maymun çiçeği virüsünü teşhis etmek için derin öğrenmeyi kullanmıştır. Eğitim ve test işlemleri için önceden eğitilmiş on üç farklı model kullanılmıştır. Öncelikle bu on üç farklı model için sınıflandırma sonuçları hesaplanmıştır. Daha sonra bu modeller arasında, en iyi performans gösteren Xception ve DenseNet169 modellerinden elde edilen olasılıksal çıktılar üzerinde çoğunluk oylaması yaklaşımı kullanılarak topluluk öğrenimi modeli geliştirilmiştir. Deneysel çalışmalar halka açık bir maymun çiçeği veri seti üzerinde gerçekleştirilmiş ve önerilen topluluk öğrenimi modeli yardımıyla sırasıyla %85.44, %85.47, %85.40 ve %87.13 ortalama kesinlik, duyarlılık, F1-skoru ve doğruluk değeri elde edilmiştir. Ahsan vd. [15] maymun çiçeği, su çiçeği, kızamık ve hastalık olmayan normal sınıflara ait görüntüleri kullanarak,

maymun çiçeği hastalığının teşhisi için derin öğrenme tabanlı bir yöntem önermiştir. Daha sonra, iki tekniği göz önünde bulundurarak VGG16 modeli ile bir transfer öğrenme yaklaşımını da değerlendirmişlerdir. İlk teknikte, görüntüler maymun çiçeği ve suçiçeği olarak iki hastalık sınıfına ayrılmıştır. İkinci teknikte ise görüntülere veri arttırımı uygulanmıştır. Deneysel çalışmalarda, veri arttırımı olmadan maymun çiçeğini sınıflandırırken %97, veri arttırımı ile %78 doğruluk elde etmişlerdir. Ali vd. [16] ilk olarak maymun çiçeği, su çiçeği ve kızamığa ait deri lezyonu görüntülerinden oluşan maymun çiçeği deri lezyonu veri seti geliştirdiler. Bu veri setindeki görüntüler çoğunlukla web sitelerinden, haber portallarından ve halka açık vaka raporlarından toplanmıştır. Veri setindeki örneklem boyutunu arttırmak için veri arttırımı kullanılmış ve 3 katlı bir çapraz doğrulama deneyi oluşturulmuştur. Bir sonraki adımda, maymun çiçeği ve diğer hastalıkları sınıflandırmak için VGG16, ResNet50 ve InceptionV3 gibi önceden eğitilmiş derin öğrenme modelleri kullanılarak topluluk öğrenimi modeli oluşturulmuştur. Toplanan maymun çiçeği deri lezyon görüntüleri kullanılarak gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sonucunda %79.26 sınıflandırma doğruluk değeri elde ettiler. Akin vd. [17] 12 farklı (ConvNeXt, ShuffleNetV2, ResNeXt50, MobileNetV3, MobileNetV2, GoogleNet, EfficientNetV2, EfficientNetB7, DenseNet161, VGG16, ResNet50 ve ResNet18) derin öğrenme modeli kullanarak maymun çiçeği deri lezyon sınıflandırılması gerçekleştirdiler. Kaggle platformunda halka açık iki sınıftan (maymun çiçeği ve normal) oluşan maymun çiçeği deri görüntüleri veri seti üzerinde gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sonucunda en iyi sınıflandırma sonucunu %98.25 doğruluk değeri ile MobileNetV2 modeli ile buldular. Nayak vd. [9] deri lezyonu görüntülerinden maymun çiçeği teşhisi için önceden eğitilmiş beş derin sinir ağı (ResNet18, AlexNet, SqueezeNet, Places365-GoogLeNet ve GoogLeNet) üzerinde çalışmalar gerçekleştirdi. Kaggle platformunda yer alan ve halka açık maymun çiçeği deri görüntü veri seti üzerinde deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu veri setinde maymun çiçeği ve maymun çiçeği olmayan hastalık olmak üzere iki sınıf bulunmaktadır. Orijinal veri seti üzerinde veri arttırımı uygulanarak deneysel çalışmalarda en iyi sınıflandırma sonucu %99.49 ile ResNet18 modelinde bulunmuştur. Nayak vd. [10] maymun çiçeği deri döküntülerine neden olan diğer benzer hastalıklardan (kızamık ve su çiçeği) teşhis etmek için dört transfer öğrenme modeli (SqueezeNet, ResNet10, ResNet18, ResNet50) kullandılar. Kaggle platformunda yer alan deri lezyon görüntüleri kullanarak gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda maymun çiçeği sınıfı için ResNet18 ile %91.19 doğruluk ve %92.55 F1-skoru elde ettiler. Bala vd. [18] çok sınıflı deri görüntülerinden maymun çiçeğini sınıflandırmak için "MonkeyNet" adlı modifiye edilmiş DenseNet-201 tabanlı bir derin ESA modeli sundular. Deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere maymun çiçeği, suçiçeği, kızamık ve normal görüntüler olmak üzere dört farklı görüntü sınıfından oluşan "Maymun Çiçeği Deri Görüntüleri Veri Seti" adlı tamamen yeni bir görüntü veri seti geliştirdiler. Daha sonra bu veri setine veri arttırımı uyguladılar. Bu veri seti üzerinde gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sonucunda önerilen yöntem ile %98.91 doğruluk değeri elde ettiler.

Maymun çiçeği hastalığının en belirgin özelliği ciltteki lezyonlarıdır. Bu hastalık sonucu oluşan deri lezyonlarının diğer lezyon hastalıklarından hızlı bir şekilde ayırt edilmesi tedaviye erken başlanması açısından önemlidir. Bu bağlamda çalışmamızın amacı, küresel ölçekte hızla yayılmaya başlayan maymun çiçeğinin deri lezyonları üzerindeki etkisini transfer öğrenme yöntemleri ile hızlı ve yüksek doğruluk oranı ile ayırt ederek doğru bir şekilde sınıflandırmaktır. Bu doğrultuda bu çalışmada 9 farklı (VGG16, ResNet50, ResNet101, ResNet152, Xception, InceptionV3, InceptionResNetV2, DenseNet121 ve DenseNet201) transfer öğrenme yöntemi kullanılarak maymun çiçeği hastalık görüntüleri sınıflandırılmıştır. Transfer öğrenme yöntemlerinin sınıflandırma performans sonuçlarını görmek için iki sınıf (maymun çiçeği ve diğer hastalıklar (kızamık, suçiçeği ve normal)) içeren maymun çiçeği deri lezyonu veri seti kullanılmıştır [16]. Veri setinin orijinal görüntüleri toplam 228 görüntü içermektedir. Bunlardan 102'si maymun çiçeği sınıfına aittir ve kalan 126'sı diğer sınıfları, yani maymun çiçeği olmayan (su çiçeği ve kızamık) hastalıklarını temsil etmektedir. Ancak çalışma kapsamında veri arttırımı uygulanarak görüntü sayıları arttırılmıştır. Bu veri seti kullanılarak iki farklı deneysel çalışma yapılmıştır. İlk deneysel çalışmalarda 9 farklı derin öğrenme yöntemi sıfırdan eğitilmiş ve sonuçlar elde edilmiştir. İkinci deneysel çalışmalarda ise transfer öğrenimi kullanılmıştır. Sıfırdan eğitim sonucunda VGG16, ResNet50, ResNet101, ResNet152, Xception, InceptionV3, InceptionResNetV2, DenseNet121 ve DenseNet201 yöntemleri için elde edilen doğruluk değerleri sırasıyla şu şekildedir: %68.89, %71.11,



%68.89, %68.89, %62.22, %66.67, %71.11, %68.89 ve %64.44. Transfer öğrenme kullanılarak gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen doğruluk değerleri ise sırasıyla şu şekildedir: %77.78, %84.44, %80, %77.78, %91.11, %88.89, %88.89, %84.44 ve %95.56. Deneysel sonuçlar incelendiğinde transfer öğreniminin daha başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir. Transfer öğrenimi yöntemleri arasında ise en iyi doğruluk değeri %95.56 ile DenseNet201 yöntemi ile elde edilmiştir.

Bu çalışmanın diğer bölümlerinin organizasyonu şu şekildedir: Bölüm 2’de, çalışmada kullanılan maymun çiçeği veri seti ve önerilen transfer öğrenimi yöntemleri yer almaktadır. Bölüm 3’te gerçekleştirilen deneysel çalışmalar kapsamlı bir şekilde ele alınmıştır. Bölüm 4’te ise çalışmanın genel bir değerlendirilmesinin yer aldığı sonuçlar bölümüne yer verilmiştir.

## 2. Materyal ve Metod

Bu bölümde çalışmada kullanılan veri seti, veri arttırımı ve transfer öğrenme yaklaşımları detaylı açıklanmıştır.

### 2.1. Maymun Çiçeği Deri Lezyon Görüntüleri Veri Seti

Transfer öğrenme modellerini eğitmek için kullanılan veri seti, maymun çiçeği deri lezyon veri seti (Monkeypox Skin Lesion Dataset) olarak adlandırılmıştır [16]. Maymun çiçeği ve Maymun çiçeği olmayan görüntüler için ikili bir sınıflandırma veri setidir ve Kaggle’da (veri bilimcileri ve makine öğrenimi uygulayıcılarından oluşan çevrimiçi bir topluluk) mevcuttur [19]. Veri seti, haber portalları, web siteleri ve kamuya açık vaka raporları gibi farklı web tarama araçlarından görüntülerin toplanması ve işlenmesiyle oluşturulmuştur. Maymun çiçeği deri lezyon veri setinin oluşturulması öncelikle maymun çiçeği vakalarını maymun çiçeği olmayan benzer vakalardan ayırt etmeye odaklanmıştır. Bu nedenle, 'Maymun Çiçeği' sınıfının yanı sıra, ikili sınıflandırma yapmak için 'Diğerleri' adlı başka bir sınıfa, başlangıç durumundaki maymun çiçeği döküntüsüne benzerliklerinden dolayı 'Suçiçeği' ve 'Kızamık' cilt lezyonu görüntüleri dahil edilmiştir. Orijinal görüntülerde, toplam 228 görüntü bulunmaktadır; bunlardan 102’si 'Maymun Çiçeği' sınıfına aittir ve geri kalan 126’sı 'Diğerleri' sınıfını, yani maymun çiçeği olmayan (su çiçeği ve kızamık) vakaları temsil etmektedir. Görüntüler 224x224x3 boyutundadır. Her iki sınıfa ait bazı görüntüler Şekil 1’de yer almaktadır.



Şekil 1. Veri setindeki örnek deri görüntüleri [9]

## 2.2. Veri Arttırımı

Veri arttırma, orijinal verilere rastgele dönüşümler uygulayarak bir veri setindeki görüntü sayısını arttırmak için kullanılan bir işlemdir. Elde edilen orijinal veri seti, veri setindeki görüntüleri toplayanlar tarafından arttırılmıştır. Veri arttırımı yapılmasının amacı, ağıın sınıflandırma performansını arttırmaktır. Döndürme, öteleme, yansıma, kesme, renk tonu, doygunluk, kontrast ve parlaklık titreşimi, gürültü ve ölçekleme gibi veri arttırma yöntemleri kullanılmıştır. Kaggle platformunda yer alan veri seti farklı klasörlerden oluşmaktadır. Çalışma kapsamında Fold1 klasöründeki eğitim-test ve doğrulama görüntüleri kullanılmıştır. Fold 1 klasöründe, orijinal görüntülerin yer aldığı veri setine üç kat çapraz doğrulama uygulanmıştır. Bu klasörde, yaygın olarak algılanan veri hazırlama uygulamasına göre, test veri seti yalnızca orijinal görüntüleri içerirken yalnızca eğitim ve doğrulama görüntüleri arttırılmıştır. Veri arttırımından sonra Fold1 klasöründe, eğitim için 2142, doğrulama için 420 ve test için 45 görüntü yer almaktadır. Veri arttırımından sonra elde edilen eğitim, test ve doğrulama görüntülerinin ayrıntılı dağılımı Çizelge 1'de verilmiştir. Çalışmada gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda eğitim, test ve doğrulama oranları Çizelge 1'deki gibi alınmıştır.

**Çizelge 1.** Maymun çiçeği deri lezyon görüntülerinin veri arttırımı sonucunda dağılımı

	Eğitim (Train)	Doğrulama (Validation)	Test
Maymun Çiçeği	980	168	20
Diğerleri	1162	252	25
Toplam	2142	420	45

## 2.3. Transfer Öğrenimi

Transfer öğrenimi, bir görev üzerinde eğitilen bir modelin farklı ancak ilgili bir görevi yerine getirmek üzere uyarlandığı veya ince ayarının yapıldığı bir makine öğrenimi tekniğidir. Yeni görevde sıfırdan bir model eğitmek yerine, transfer öğrenimi orijinal görevden öğrenilen bilgi ve özelliklerden yararlanmaktadır. Bu, eğitim sürecini önemli ölçüde hızlandırabilmekte ve özellikle yeni görev için sınırlı veriye sahip olduğunuzda genellikle daha iyi performansla sonuçlanabilmektedir. Transfer öğrenme süreci genel olarak şu adımları içermektedir. (1) Ön eğitim: Bir model başlangıçta bir kaynak görev için büyük bir veri seti üzerinde eğitilmektedir. Bu görev, görüntü sınıflandırma gibi genel bir görev olabilmektedir. (2) Özellik çıkarma: Önceden eğitilmiş model bir özellik çıkarıcı olarak kullanılmaktadır. Son sınıflandırma katmanından önceki katmanlar dondurulmakta ve model, hedef görevle ilgili yeni veri setinden özellikler çıkarmak için kullanılmaktadır. (3) İnce ayar: Önceden eğitilmiş model daha sonra değiştirilebilmektedir. Son katmanlar belirli hedef görev için değiştirilebilir veya yeniden eğitilebilmektedir. Bu ince ayar adımı, modelin öğrenilen özelliklerini yeni göreve uyarlamaktadır. Bu çalışma kapsamında ImageNet veri seti kullanılarak önceden eğitilmiş olan 9 farklı derin öğrenme yöntemi kullanılmaktadır. Bunlar, VGG16 [20], ResNet50-ResNet101-ResNet152 [21], Xception [22], InceptionV3 [23], InceptionResNetV2 [24], DenseNet121-DenseNet201 [25] yöntemleridir.

### 2.3.1. VGG16

VGG16, Oxford Üniversitesi'ndeki Visual Graphics Group (VGG) araştırmacıları tarafından önerilen derin bir evrişimli sinir ağı mimarisidir. Adını gruptan ve 16 katmana (13 evrişimsel katman ve 3 tam bağlantılı katman) sahip olmasından almaktadır. VGG16, 2014 yılında Karen Simonyan ve Andrew Zisserman tarafından yazılan "Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition" başlıklı makalede tanıtılmıştır [20]. VGG16, basitliği ve tek tip mimarisiyle bilinmektedir. Çeşitli katman yapılandırmaları kullanan önceki derin öğrenme modellerinin aksine VGG16, özellik haritalarının uzamsal boyutlarını azaltmak için maksimum havuzlama katmanlarıyla birlikte ağı boyunca 3x3 evrişimsel filtreler kullanılmaktadır. Küçük 3x3 filtrelerin kullanılması, ağı daha karmaşık özellikleri öğrenmesini sağlamaktadır. Ayrıca, VGG16 nispeten çok sayıda parametreye sahiptir, bu da



onu eğitmek için hesaplama açısından pahalı hale getirebilmektedir. Bununla birlikte, bu büyük kapasite, verilerden karmaşık özellikleri yakalamasına ve öğrenmesine olanak tanımaktadır. VGG16, etiketli görüntülerden oluşan büyük bir veri seti olan ImageNet veri seti üzerinde önceden eğitilmiştir ve genellikle transfer öğrenimi için kullanılmaktadır. Araştırmacılar, önceden eğitilmiş VGG16 modelini alıp belirli bilgisayarla görme görevleri için ince ayar yapabilmektedir. Bu ince ayar işlemi, modelin ImageNet üzerinde öğrendiği bilgilerden yararlanarak görüntü ile ilgili diğer görevlerdeki performansını arttırabilmektedir.

### 2.3.2. ResNet50-ResNet101-ResNet152

ResNet (Artık Ağ), Kaiming He, Xiangyu Zhang, Shaoqing Ren ve Jian Sun tarafından 2015 yılında "Görüntü Tanıma için Derin Artık Öğrenme (Deep Residual Learning for Image Recognition)" başlıklı makalelerinde tanıtılan bir derin evrişimli sinir ağı mimarileri ailesidir [21]. ResNet, çok derin sinir ağlarında sıklıkla ortaya çıkan kaybolan gradyan sorununu ele alma konusundaki yeniliğiyle bilinmektedir. ResNet'in arkasındaki temel fikir, bilginin ağda daha kolay akmasını sağlayan artık bağlantıların veya atlama bağlantılarının kullanılmasıdır. Bu atlama bağlantıları esasen bir veya daha fazla katmanı atlayarak çok derin ağların eğitilmesini mümkün kılmaktadır. ResNet mimarisinin ResNet50, ResNet101 ve ResNet152 dahil olmak üzere, öncelikle derinlikleri, yani sahip oldukları katman sayısı bakımından farklılık gösteren çeşitli varyantları vardır. Bunlar aşağıdaki gibidir.

*ResNet50:* ResNet mimarisinin nispeten sığ bir çeşididir. Evrişimsel katmanlar, toplu normalizasyon ve tam bağlı katmanlar dahil olmak üzere toplam 50 katmana sahiptir. "50" ağdaki toplam katman sayısını göstermektedir. Bu model genellikle çok çeşitli bilgisayarla görme görevleri için kullanılmakta ve hesaplama kaynaklarının sınırlı olduğu durumlar için uygundur.

*ResNet101:* ResNet50'ye kıyasla ResNet'in daha derin bir çeşididir. Toplamda 101 katmana sahiptir, daha fazla derinlik ve bazı durumlarda daha iyi performans sunmaktadır. Daha derin ağlar daha karmaşık özellikleri yakalayabilmekte ve yeterli hesaplama kaynaklarının mevcut olması koşuluyla zorlu görevlerde daha iyi performans gösterebilmektedir.

*ResNet152:* Toplam 152 katmanıyla ResNet101'den bile daha derindir. Bahsettiğimiz üç varyant arasında en derin olanıdır. Artan derinlik, ResNet152'nin giriş verilerinden daha karmaşık ve ince taneli özellikleri yakalamasını sağlamaktadır. Ancak bu aynı zamanda daha fazla hesaplama kaynağı gerektirmekte ve eğitilmesi daha uzun sürebilmektedir.

Tüm bu ResNet varyantları, görüntü sınıflandırma, nesne algılama ve diğer bilgisayarla görme görevlerinde oldukça etkili sonuçlar üretmektedir. Genellikle büyük görüntü veri setleri üzerinde önceden eğitilmiş modellerin belirli uygulamalar için ince ayarının yapıldığı transfer öğrenme için temel olarak kullanılırlar. Araştırmacılar, önceden eğitilmiş ResNet modellerini alıp bunları görüntüyle ilgili farklı görevlere uyarlayarak sıfırdan eğitime kıyasla zaman ve kaynak tasarrufu sağlayabilmektedirler. ResNet50, ResNet101 ve ResNet152 arasındaki seçim, görevin özel gereksinimlerine, mevcut hesaplama kaynaklarına ve istenen model derinliği seviyesine bağlıdır.

### 2.3.3. Xception

Xception, Keras derin öğrenme kütüphanesinin oluşturucusu François Chollet tarafından "Deep Learning with Depthwise Separable Convolutions" başlıklı 2017 yılında yayınlanan bir araştırma makalesinde tanıtılan bir derin evrişimli sinir ağı mimarisidir. "Xception" ismi "Extreme Inception" anlamına gelmekte ve Inception sinir ağı mimarileri ailesiyle olan ilişkisini göstermektedir [22]. Xception, özellikle derinlemesine ayrılabilir evrişimler kullanarak evrişimlere getirdiği yeni yaklaşımla bilinmektedir. Tüm giriş görüntüsüne tek bir evrişimsel filtre uygulayan geleneksel evrişimlerin aksine, derinlemesine ayrılabilir evrişim işlemi uygulanmaktadır. Bu işlem geleneksel evrişimi iki aşamaya ayırmaktadır: derinlemesine evrişim ve noktasal evrişim. Derinlemesine evrişimde, giriş görüntüsünün her kanalına bağımsız olarak ayrı bir evrişim işlemi uygulanmaktadır. Bu işlem, aynı filtrenin tüm giriş kanallarına uygulandığı geleneksel evrişimlere kıyasla hesaplama maliyetini önemli ölçüde azaltmaktadır. Noktasal evrişim, derinlemesine evrişimden sonra çıkış kanallarını birleştirmek için noktasal evrişim olarak da bilinen 1x1 evrişim uygulanmaktadır. Bu adım, çıkış kanallarının doğrusal

kombinasyonlarına izin vererek karmaşık desenlerin yakalanmasına yardımcı olmaktadır. Xception'da derinlemesine ayrılabilir evrişimlerin kullanılması, model parametrelerinin ve hesaplama kaynaklarının daha verimli kullanılmasını sağlamaktadır. Bu mimari seçim, son derece etkileyici ve verimli bir derin öğrenme modeliyle sonuçlanmaktadır. Xception ayrıca ResNet mimarilerine benzer şekilde kaybolan gradyan sorununu hafifletmek için atlama bağlantıları kullanmaktadır.

Xception sinir ağı, 71 katman derinliğe sahip bir ESA mimarisidir. Xception mimarisi, ağı özellik çıkarma sürecinin temelini oluşturan toplam 36 evrişimli katman içermektedir. Evrişimli katmanlar toplam 36 katman olacak şekilde 14 modül halinde gruplandırılmıştır. İlk ve son modüller hariç tüm modüller kendilerini çevreleyen doğrusal artık bağlantılara sahiptir. Xception mimarisi, artık bağlantılara sahip, derinlemesine ayrılabilir evrişim katmanlarının doğrusal bir yığından oluşmaktadır. Xception modeli, 1000'den fazla sınıfa ait 14 milyon görüntünün yer aldığı ImageNet'te %94.5 doğruluk elde etmiştir [22].

#### 2.3.4. InceptionV3

InceptionV3, Inception mimarisi kullanılarak bir araya getirilen ve GoogleNet olarak da bilinen InceptionV1'in geliştirilmiş versiyonudur. InceptionV3, Google araştırmacıları tarafından 2015 yılında "Rethinking the Inception Architecture for Computer Vision" başlıklı bir makalede tanıtılmıştır [23]. InceptionV3'ün arkasındaki temel fikir, ağı farklı uzamsal ölçeklerdeki bilgileri verimli bir şekilde yakalamasını sağlayan Inception modüllerinin kullanılmasıdır. Bu modüller, giriş verilerini aynı anda farklı çözünürlüklerde işlemek için aynı katman içinde birden fazla boyutta (1x1, 3x3, 5x5, vb.) filtreler kullanmaktadır. Bu, ağı giriş görüntülerinden çok çeşitli özellikler öğrenmesini sağlayarak görüntü sınıflandırma görevlerinde doğruluğun artmasına yol açmaktadır. InceptionV3 ayrıca aşırı öğrenmeyi azaltmaya ve modelin genellemesini iyileştirmeye yardımcı olan toplu normalleştirme ve çarpanlarına ayrılmış 7x7 evrişimler de içermektedir. Mimari, giriş görüntülerinden karmaşık desenleri ve hiyerarşik özellikleri yakalayabilen derin bir ağ oluşturarak üst üste yığılmış bu türden birden fazla Inception modülü içermektedir.

#### 2.3.5. Inception-ResNetV2

Inception-ResNetV2, Inception mimarisi ve ResNet'ten artık bağlantılar kavramlarını birleştiren derin bir evrişimli sinir ağı mimarisidir. Christian Szegedy, Sergey Ioffe, Vincent Vanhoucke ve Alexander A. Alemi tarafından 2016 yılında "Inception-v4, Inception-ResNet and the Impact of Residual Connections on Learning" başlıklı makalede tanıtılmıştır [24]. Inception-ResNetV2, hem Inception mimarisinin hem de ResNet mimarisinin bir uzantısıdır. Inception modüllerinin çok dallı mimarisinden yararlanırken, kaybolan gradyan sorununu ele almak ve çok derin ağların eğitimini sağlamak için artık bağlantılar içermektedir. Orijinal Inception mimarisine benzer şekilde, Inception-ResNetV2 çeşitli ölçeklerdeki özellikleri yakalamak için paralel olarak farklı boyutlarda çok ölçekli evrişimsel filtreler kullanmaktadır. Bunun yanı sıra, kısayol bağlantılarının bir veya daha fazla katmanı atlayarak eğitim sırasında gradyanların daha kolay akmasına izin verdiği artık bağlantıları kullanmaktadır. Bu, gradyanların kaybolma riski olmadan çok derin ağların eğitimine yardımcı olmaktadır. Ayrıca, hesaplama maliyetini azaltmak için çarpanlara ayrılmış evrişimler kullanmaktadır. Çarpanlara ayrılmış evrişimler, daha büyük evrişimleri daha küçük, daha verimli işlemlere ayırarak parametre sayısını ve hesaplama karmaşıklığını azaltmaktadır. Son olarak, toplu normalizasyon, ağ içindeki aktivasyonları normalleştirmek için uygulanmakta ve eğitim sırasında daha hızlı yakınsamaya yardımcı olmaktadır.

#### 2.3.6. DenseNet121-DenseNet201

DenseNet121 ve DenseNet201, özellikle bilgisayarla görme alanında derin öğrenme görevleri için tasarlanmış olan DenseNet (Densely Connected Convolutional Networks-Yoğun Bağlantılı Evrişimsel Ağlar) mimarisinin iki çeşididir. DenseNet'teki "Dense", her katmanın diğer her katmana ileri beslemeli bir şekilde bağlandığı ağ içindeki yoğun bağlantıyı ifade etmektedir [25].

*DenseNet121*: DenseNet mimarisinin özel bir çeşididir ve "121" sayısı ağıdaki toplam katman sayısını göstermektedir. Bu mimari, evrişimsel katmanlar, toplu normalizasyon ve tam bağlı katmanlar

dahil olmak üzere toplam 121 katmandan oluşmaktadır. Her katmanın bir bloktaki önceki tüm katmanlardan özellik haritaları aldığı yoğun bir bağlantı modeli kullanılmaktadır. Bu, özelliğin yeniden kullanılmasını sağlamakta, gradyan akışını iyileştirmekte ve yüksek verimli ve parametre açısından etkili modellerle sonuçlanmaktadır. DenseNet121 görüntü sınıflandırma, nesne algılama ve segmentasyon gibi çok çeşitli bilgisayarla görme görevlerinde yüksek doğruluk elde etme kabiliyetiyle bilinmektedir. ImageNet gibi büyük görüntü veri setleri üzerinde önceden eğitilmiştir, bu da onu çeşitli uygulamalarda transfer öğrenimi için uygun hale getirmektedir.

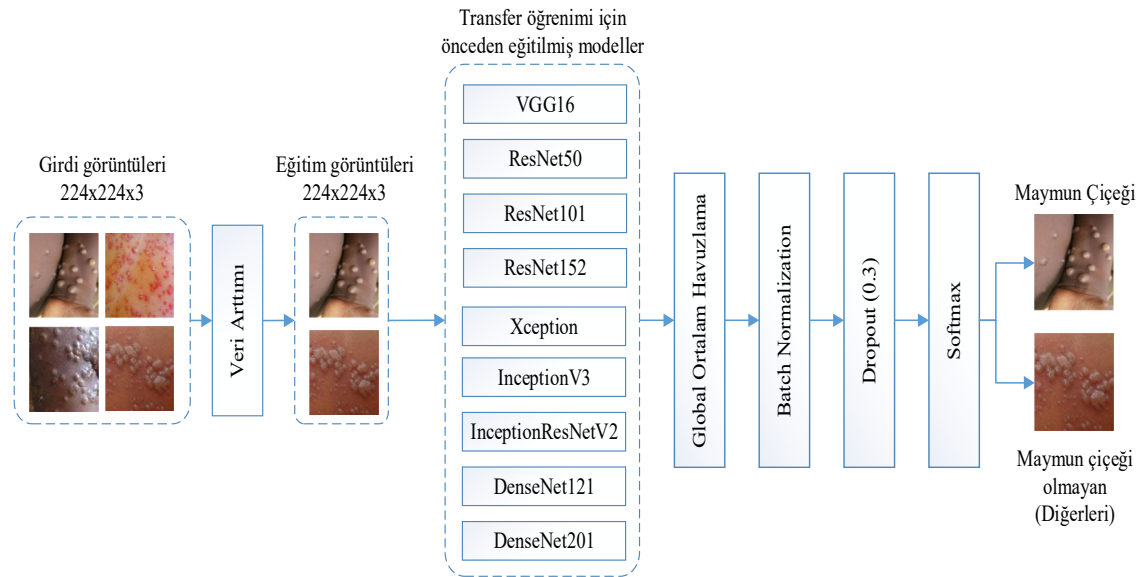
*DenseNet201*: DenseNet mimarisinin DenseNet121'e kıyasla daha derin bir çeşididir. Adındaki "201" toplam 201 katmandan oluştuğunu göstermektedir. Arttırılmış model derinliği sunarak giriş verilerinden daha karmaşık özelliklerin ve desenlerin yakalanmasına olanak tanımaktadır. Bu artan derinlik, zorlu bilgisayarlı görme görevleri için avantajlı olabilmektedir. DenseNet201, DenseNet121 gibi görüntü sınıflandırma ve nesne tanıma gibi görevler için uygundur. Derin mimarisi gelişmiş özellik öğrenme yetenekleri sağlamaktadır. DenseNet121 gibi, DenseNet201 modelleri de genellikle büyük veri setleri üzerinde önceden eğitilmekte ve transfer öğrenimi kullanılarak belirli görevler için ince ayarlar yapılabilmektedir.

Hem DenseNet121 hem de DenseNet201, özelliklerin yeniden kullanımını destekleyen ve kaybolan gradyan sorunu gibi sorunları azaltmaya yardımcı olan yoğun bağlantı özelliğini paylaşmaktadır. Derin öğrenme alanına önemli katkılarda bulunmuşlardır ve etkileyici performansları ve verimlilikleri nedeniyle çeşitli bilgisayarla görme uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadırlar. İkisi arasındaki seçim, görevin özel gereksinimlerine ve mevcut hesaplama kaynaklarına bağlıdır; DenseNet201 daha derin ve potansiyel olarak daha güçlüdür ancak daha fazla hesaplama kaynağı gerektirmektedir.

#### 2.4. Önerilen Yöntem

Transfer öğrenimi için önceden eğitilmiş modellerin kullanıldığı önerilen yöntemin şeması Şekil 2'deki gibidir. Şekil 2'de gösterildiği gibi, girdi görüntüleri önceden eğitilmiş modellerin girişine verilmeden önce ilk olarak veri arttırımı uygulanmıştır. Daha sonra 224x224x3 boyutundaki girdi eğitim görüntüleri ayrı ayrı 9 farklı önceden eğitilmiş ağ modelleri kullanılarak eğitim işlemi gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan önceden eğitilmiş ağ modelleri şu şekildedir: VGG16, ResNet50, ResNet101, ResNe152, Xception, InceptionV3, InceptionResNetV2, DenseNet121 ve DenseNet201. Her bir önceden eğitilmiş modelden sonra elde edilen çıktı özellik haritasına sırasıyla global ortalama havuzlama (GOH), toplu normalleştirme ve 0.3 dropout oranına sahip dropout (bırakma) katmanı uygulanmıştır. GOH, son sınıflandırma katmanından (softmax) önce özellik haritalarının uzamsal boyutlarını azaltmak için ESA'larda yaygın olarak kullanılan bir tekniktir. Tam bağlantılı katmanlar kullanmak yerine GOH, özellik haritasındaki tüm değerlerin ortalamasını hesaplayarak her özellik haritası için tek bir değer elde etmektedir. GOH kullanmanın bazı avantajları şu şekildedir: (i) Ağdaki parametre sayısını azaltarak, özellikle sınırlı miktarda eğitim verisi ile çalışırken önemli olan aşırı öğrenmeyi azaltmaya yardımcı olabilmektedir. Ayrıca bir tür düzenleme işlevi de görebilmektedir. (ii) Tam bağlantılı katmanlarla karşılaştırıldığında, GOH hesaplama açısından daha verimlidir. Tam bağlantılı katmanlar, özellikle yüksek çözünürlüklü özellik haritalarıyla uğraşırken çok sayıda parametre ve hesaplama kaynağı gerektirmektedir. GOH hesaplama karmaşıklığını önemli ölçüde azaltmaktadır. Bunun yanı sıra, GOH basit bir işlemdir ve uygulanması basittir. Eğitim sürecini basitleştirebilecek herhangi bir ek parametrenin öğrenilmesini gerektirmez. (iii) GOH, tamamen bağlı katmanlara kıyasla daha az bellek gerektirmektedir; bu da onu mobil veya yerleşik cihazlar gibi kaynakları kısıtlı uygulamalar için iyi bir seçim haline getirmektedir. (iv) Önceden eğitilmiş modellere ince ayar yapılırken, tamamen bağlı katmanların GOH katmanlarıyla değiştirilmesi yaygın bir uygulamadır. Bu, eğitim öncesi aşamada öğrenilen bilgileri korurken modeli farklı bir göreve uyarlamaya olanak tanımaktadır. Önceden eğitilmiş ağ modellerinde toplu normalleştirme kullanıldığında, (i) yeni görevler veya veri setleri üzerinde ince ayar yapılması sırasında modelin kararlılığının ve performansının korunmasına yardımcı olmaktadır. (ii) Modelin yakınsaması için gereken eğitim yinelemelerinin sayısını azaltarak eğitim sürecini hızlandırmaktadır. Bu, daha hızlı eğitimle sonuçlanmaktadır. Yani, eğitim sürecini hızlandırmak ve kolaylaştırmak için toplu

normalleştirme kullanılmaktadır. Önerilen modelde dropout (bırakma) katmanı kullanılmasının avantajları ise şu şekildedir: Dropout (Bırakma), aşırı öğrenmeyi önlemek için etkili bir düzenleme tekniği olarak hizmet etmektedir. Eğitim sırasında nöronların bir kısmını rastgele devre dışı bırakarak modelin yeni görevlere veya veri setlerine daha iyi genelleştirilmesine yardımcı olmaktadır. Bu bırakmanın neden olduğu rastgelelik, belirli öğrenilen özelliklere olan bağımlılığı azaltarak modeli ince ayar sırasında daha uyarlanabilir ve sağlam hale getirmektedir. Sonuç olarak, dropout (bırakma), modelin çeşitli veri dağılımlarına genelleme yeteneğini geliştirebilmekte ve transfer öğrenme senaryolarındaki performansını artırabilmektedir. GOH, toplu normalleştirme ve dropout katmanlarından sonra elde edilen özellik haritası sınıflandırma işlemi için softmax sınıflandırıcısının girişine verilmektedir. Softmax, sinir ağında sınıflandırma görevleri için son katman olarak kullanılmaktadır. Softmax sınıflandırıcı, girdi olarak rastgele gerçek değerli puanlardan oluşan bir vektörü almakta ve bunları birden fazla sınıf üzerinde bir olasılık dağılımına dönüştürmektedir. Softmax, girdi puanlarını üstelleştirerek bunları pozitif değerlere dönüştürmekte ve ardından bu değerleri tüm üstelleştirilmiş puanların toplamına bölerek normalleştirmektedir. Bu normalleştirme, elde edilen değerlerin 0 ile 1 arasında olmasını ve olasılıkları temsil eden toplamın 1'e kadar çıkmasını sağlamaktadır. Daha sonra en yüksek olasılığa sahip sınıf, çıktı sınıfı olarak tahmin edilmektedir.



Şekil 2. Önerilen yöntem

### 3. Deneysel Çalışmalar ve Sonuçları

Deneysel çalışmalar ve sonuçlar bu bölümde ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Bu bölümün alt başlıklarından ilki deneysel çalışmalarda kullanılan hiperparametrelerin yer aldığı deneysel kurulum bölümüdür. İkinci bölümde, deneysel çalışmalarda kullanılan değerlendirme ölçütleri yer almaktadır. Son alt bölümde, çeşitli transfer öğrenme modelleriyle elde edilen deneysel sonuçlar açıklanmıştır.

#### 3.1. Deneysel Kurulum

Deneysel çalışmalarda python programlama dili kullanılmıştır. Tüm python kodları Kaggle platformunda kodlanmıştır. Kaggle platformunda transfer öğrenme modellerinin eğitimi, doğrulanması ve testi için yürütme ortamı olarak GPU P100 kullanılmıştır. Kullanılan hiperparametreler ise şu şekildedir: batch size 128, öğrenme oranı 0.001, epok değeri olarak 100 alınmıştır. Optimizasyon yöntemi olarak Adam kullanılmıştır. Girdi görüntü boyutları 224x224x3 olarak ayarlanmıştır. Transfer öğrenme modellerinin eğitiminde Kategorik Çapraz Entropi (Categorical Cross Entropy) kayıp

fonksiyonu kullanılmıştır. Kategorik Çapraz Entropi kayıp fonksiyonu, sınıflandırma modellerinin eğitiminde ve değerlendirilmesinde kullanılan temel bir araçtır. Bu kayıp fonksiyonunun kullanım amacı, çok sınıflı bir sınıflandırma probleminde tahmin edilen sınıf olasılıkları ile gerçek sınıf etiketleri arasındaki farklılığı ölçmektir. Bu sayede modelin öğrenme sürecine rehberlik etmekte ve modelin daha iyi ve daha doğru tahminler yapmasına yardımcı olmaktadır. Tüm modellerde eğitim-doğrulama-test ayırımı veri arttırımından sonra elde edilen örnekler baz alınarak yapılmıştır. Veri arttırımından sonra elde edilen eğitim-doğrulama-test örnek sayıları Çizelge 1’de verilmiştir. Tüm deneysel çalışmalarda Çizelge 1’deki ayırım kullanılmıştır.

### 3.2. Değerlendirme ölçütleri

Deneysel çalışmada kullanılan transfer öğrenme modellerinin performansı, her deneme için ilgili karışıklık matrisinden elde edilen sonuçlar kullanılarak değerlendirilmiştir. Değerlendirme için kullanılan parametreler kesinlik, duyarlılık, doğruluk ve F1 skoru'dur.

*Karışıklık matrisi:* İkili sınıflandırma sırasında 2x2'lik bir matristir. Gerçek pozitifler, gerçek negatifler, yanlış pozitifler ve yanlış negatif değerlerden oluşmaktadır. Gerçek pozitif vakalar, 'Maymun çiçeği' sınıfı örneklerinin sayısı doğru şekilde tanımlandığında ortaya çıkmaktadır. Gerçek negatif vakalar, Maymun Çiçeği olmayan (diğerleri) vakalar doğru şekilde tanımlandığında ortaya çıkmaktadır. Yanlış pozitif ve yanlış negatif sonuçlar yanlış tahmin edilen sonuçlardır. Yanlış pozitif sonuçlar, Maymun çiçeği olmayanlar (diğerleri) yanlış tanımlandığında ortaya çıkmaktadır. Yanlış negatif, Maymun çiçeği vakalarının yanlış tahmin edilmesi durumunda ortaya çıkmaktadır. Yanlış pozitif ve yanlış negatif durumlar en aza indirildiğinde modeller iyi performans göstermektedir.

*Kesinlik:* Gerçek pozitif ve yanlış pozitif sonuçlara vurgu yapan bir ölçümdür. Yanlış pozitif vakalar düşük olduğunda kesinlik yüksektir. Denklem (1) kullanılarak hesaplanmaktadır.

*Duyarlılık:* Gerçek pozitif ve yanlış negatif sonuçları vurgulayan bir ölçümdür. Yanlış negatif vakalar düşük olduğunda duyarlılık yüksektir. Denklem (2) kullanılarak hesaplanmaktadır.

*F1 skoru:* Hem kesinliği hem de duyarlılığı dikkate alan bir ölçümdür. İki ölçütün harmonik ortalamasıdır. Denklem (3) kullanılarak hesaplanmaktadır.

*Doğruluk:* Tüm örnekler arasında doğru tahmin edilen örnek sayısıdır (Hem maymun çiçeği hem de maymun çiçeği olmayan). Denklem (4) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$\text{Kesinlik} = \frac{\text{Gerçek pozitif}}{\text{Gerçek pozitif} + \text{Yanlış pozitif}} \quad (1)$$

$$\text{Duyarlılık} = \frac{\text{Gerçek pozitif}}{\text{Gerçek pozitif} + \text{Yanlış negatif}} \quad (2)$$

$$\text{F1 skoru} = 2 \times \frac{\text{Kesinlik} \times \text{Duyarlılık}}{\text{Kesinlik} + \text{Duyarlılık}} \quad (3)$$

$$\text{Doğruluk} = \frac{\text{Gerçek pozitif} + \text{Gerçek negatif}}{\text{Gerçek pozitif} + \text{Yanlış pozitif} + \text{Gerçek negatif} + \text{Yanlış negatif}} \quad (4)$$

### 3.3. Deneysel Sonuçlar

Bu çalışmada, maymun çiçeğini, su çiçeği ve kızamık gibi diğer benzer hastalıklardan sınıflandırmak için VGG16, ResNet50, ResNet101, ResNe152, Xception, InceptionV3, InceptionResNetV2, DenseNet121 ve DenseNet201 olmak üzere dokuz farklı önceden eğitilmiş derin öğrenme modeli kullanılmıştır. Deneysel çalışmalar iki sınıftan (maymun çiçeği ve diğerleri) oluşan maymun çiçeği deri lezyon görüntü veri seti üzerinde yapılmıştır. Çalışma kapsamında transfer

öğreniminin daha etkili olduğunu göstermek için iki farklı deneysel çalışma yapılmıştır. İlk deneysel çalışmada, dokuz farklı model sıfırdan eğitim işlemine tabi tutulmuş ve sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 2'deki gibidir. Çizelge 2'ye bakıldığında, en iyi doğruluk sonuçları %71.11 ile ResNet50 ve InceptionResNetV2 modelleri ile elde edildiği görülmektedir. Diğer modellerden, VGG16, ResNet101, ResNet152 ve DenseNet121 modelleri %68.89 doğruluk değeri elde etmiştir. Xception ile %62.22, InceptionV3 ile %66.67 ve DenseNet201 ile %64.44 doğruluk değerleri elde edilmiştir. Diğer değerlendirme ölçütleri incelendiğinde, en iyi kesinlik, duyarlılık ve F1 skor değerleri sırasıyla %77.08, %73.5, %75.25 ile InceptionResNetV2 modelinde elde edilmiştir. En kötü kesinlik, duyarlılık ve F1 skor değeri sırasıyla %62.02, %60 ve %60.99 ile Xception modelinde elde edilmiştir.

İkinci deneysel çalışmada, önceden eğitilmiş dokuz farklı model kullanılmıştır. Dört farklı değerlendirme ölçütüne göre sonuçlar Çizelge 3'te verilmiştir. Çizelge 3 incelendiğinde, en iyi doğruluk, kesinlik, duyarlılık ve F1 skor değerleri sırasıyla %95.56, %95.46, %96, %95.73 ile DenseNet201 modelinde elde edilmiştir. DenseNet201 modeline en yakın sonuçlar, %91.11 doğruluk, %91 kesinlik, %91.5 duyarlılık ve %91.25 F1 skoru ile Xception modeli ile elde edilmiştir. Diğer modeller incelendiğinde, InceptionV3 ile %88.89 doğruluk, %90 kesinlik, duyarlılık ve F1 skoru, InceptionResNetV2 ile %88.89 doğruluk, %88.97 kesinlik, %88.5 duyarlılık, %88.73 F1 skoru, DenseNet121 ile %84.44 doğruluk, %85.5 kesinlik, duyarlılık ve F1 skoru, ResNet50 ile %84.44 doğruluk, %84.23 kesinlik, %84.5 duyarlılık ve %84.36 F1 skoru elde edilmiştir. En kötü sınıflandırma sonuçları ise, sırasıyla, %77.78 doğruluk ve kesinlik, %77 duyarlılık ve %77.39 F1 skoru ile VGG16, %77.78 doğruluk, %78.27 kesinlik, %78.5 duyarlılık ve %78.38 F1 skoru ile ResNet152 modellerinde elde edilmiştir. VGG16 ve ResNet152'den sonra en kötü sonuçlar %80 doğruluk, %80.14 kesinlik, %80.5 duyarlılık ve %80.32 F1 skoru ile ResNet101 modelinde bulunmuştur. Çizelge 2 ve Çizelge 3 incelendiğinde, dokuz farklı modelin transfer öğrenimi kullanılarak daha başarılı sonuçlar elde ettiği açık bir şekilde görülmektedir.

**Çizelge 2.** Sıfırdan eğitim model sonuçları

Model	Doğruluk (%)	Kesinlik (%)	Duyarlılık (%)	F1 skor (%)
VGG16	68.89	69.35	69.5	69.42
ResNet50	71.11	73.15	72.5	72.82
ResNet101	68.89	71.53	70.5	71.01
Xception	62.22	62.02	60.00	60.99
InceptionV3	66.67	67.5	67.5	67.5
ResNet152	68.89	71.53	70.5	71.01
InceptionResNetV2	71.11	77.08	73.5	75.25
DenseNet121	68.89	75.85	71.5	73.61
DenseNet201	64.44	70.44	67.00	68.68

**Çizelge 3.** Önceden eğitilmiş model sonuçları

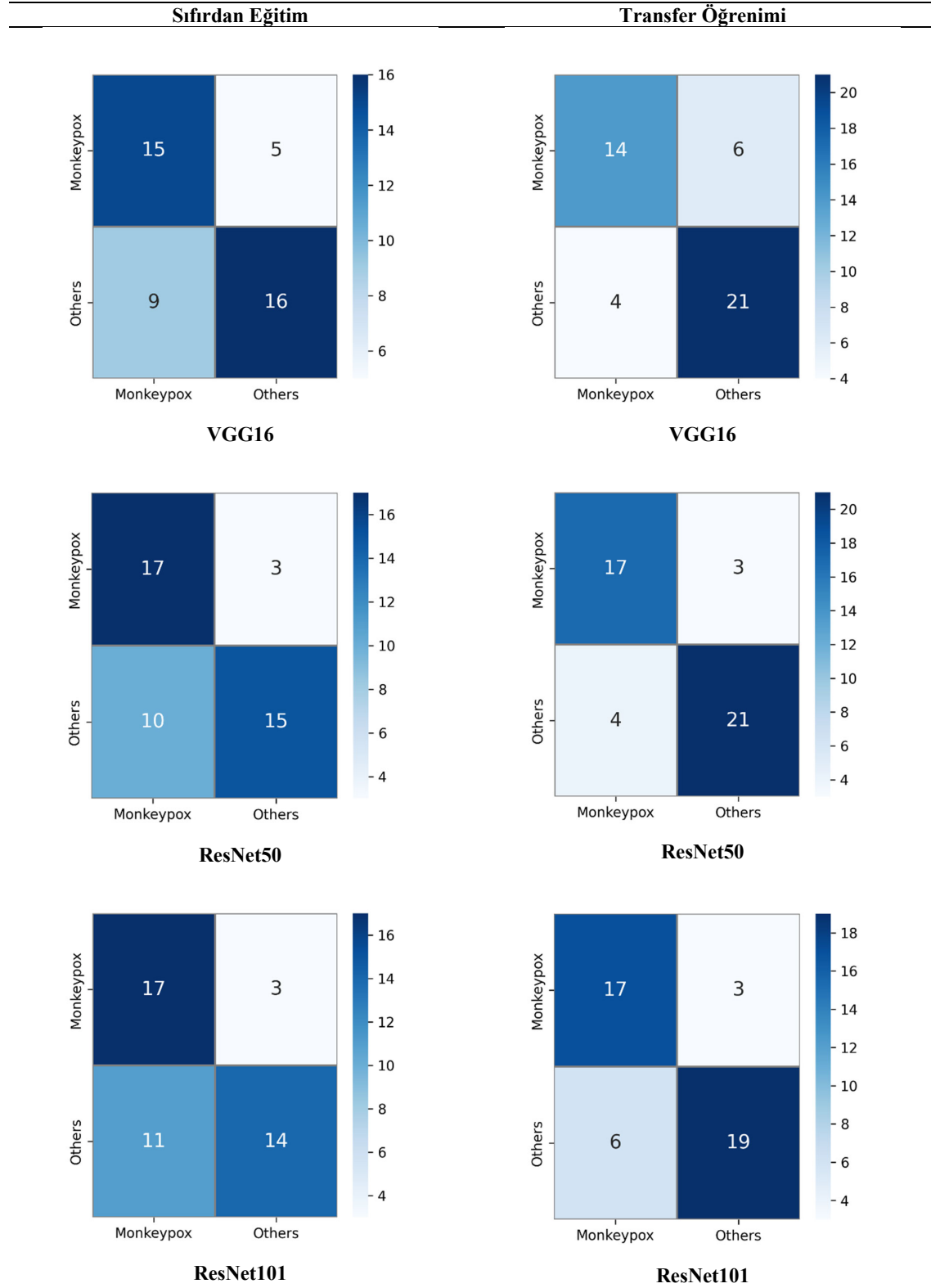
Model	Doğruluk (%)	Kesinlik (%)	Duyarlılık (%)	F1 skor (%)
VGG16	77.78	77.78	77	77.39
ResNet50	84.44	84.23	84.5	84.36
ResNet101	80.00	80.14	80.5	80.32
Xception	91.11	91.00	91.5	91.25
InceptionV3	88.89	90.00	90.00	90.00
ResNet152	77.78	78.27	78.5	78.38
InceptionResNetV2	88.89	88.97	88.5	88.73
DenseNet121	84.44	85.5	85.5	85.5
DenseNet201	95.56	95.46	96	95.73

Sınıflandırma problemlerinin değerlendirilmesi için karışıklık matrisleri kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra doğruluk, kesinlik, duyarlılık ve F1 skor değerlerinin hepsi de karışıklık matrisinden elde edilmektedir. Matrisin boyutu sınıflandırma probleminin çıktı boyutuna bağlıdır. Bizim çalışmamızda çıktımız iki sınıf (Monkeypox (Maymun çiçeği) ve Others (Diğerleri)) olduğundan dolayı karışıklık matrislerimiz 2x2 boyutunda olacaktır. Karışıklık matrisi, sınıflandırma modeli için gerçek ve tahmin edilen çıktıları karşılaştırmaktadır. Karışıklık matrislerinin oluşturulması, sonuçların daha iyi anlaşılmasına olanak sağlamaktadır. Modelin değerlendirilmesinden sonra, bir karışıklık matrisi gerçek olumlu ve olumsuz yönleri ortaya koymaktadır. Bu, bize modeldeki doğru ve yanlış tahminlerin sayısını net bir şekilde anlamamızı sağlamaktadır. Karışıklık matrislerimizde toplam 45 test görüntümüzden iki sınıfa ait kaç tane görüntünün doğru şekilde tahmin edildiği rahat bir şekilde çıkarılabilmektedir. Şekil 3, 4 ve 5'te sıfırdan eğitim ve transfer öğrenimi kullanılarak önceden eğitilmiş dokuz farklı derin öğrenme modelinin karışıklık matrisleri verilmiştir. Dokuz farklı modelin karışıklık matrisleri incelendiğinde, sıfırdan eğitim sonucunda VGG16, ResNet50, ResNet101, ResNe152, Xception, InceptionV3, InceptionResNetV2, DenseNet121 ve DenseNet201 ile sırasıyla, 31, 32, 31, 31, 28, 30, 32, 31 ve 29 görüntünün doğru tahmin edildiği görülmektedir. Doğru tahmin edilen görüntü sayısının toplam test örneği sayısına oranı doğruluk değerini vermektedir. Bu sonuçlardan dokuz model için elde edilen doğruluk değerleri sırasıyla şu şekildedir: %68.89, %71.11, %68.89, %68.89, %62.22, %66.67, %71.11, %68.89, %64.44. Transfer öğrenimi kullanılarak önceden eğitilmiş modeller sonucunda doğru tahmin edilen görüntü sayıları ise sırasıyla şu şekildedir: 35, 38, 36, 35, 41, 40, 40, 38, 43. Elde edilen doğruluk değerleri ise şu şekildedir: %77.78, %84.44, %80, %77.78, %91.11, %88.89, %88.89, %84.44 ve %95.56. Tüm sonuçlar incelendiğinde, hem doğru tahmin edilen görüntü sayısı hem de doğruluk değerleri bakımından transfer öğreniminin sıfırdan eğitimden daha başarılı sonuçlar elde ettiği görülmektedir. Tüm modeller arasından önceden eğitilmiş DenseNet201 modeli, toplam 45 test görüntüsünden 43 görüntüyü doğru tahmin ederek %95.56 doğruluk değeri ile en başarılı modeldir.

Literatürde aynı veri setini kullanarak gerçekleştirilen çalışmaların karşılaştırılması Çizelge 4'te verilmiştir. Önerilen DenseNet201 modeli ile %95.56 doğruluk, %95.46 kesinlik, %96 duyarlılık ve %95.73 F1 skoru elde edilmiştir. [12] nolu çalışmada, Inception V3, Xception ve DenseNet169 modelleri kullanılarak geliştirilen topluluk öğrenimi modeliyle %93.39 doğruluk, %88.91 kesinlik, %96.78 duyarlılık ve %92.35 F1 skoru elde edilmiştir. [14] nolu çalışmada, Xception ve DenseNet169 modellerinden elde edilen olasılıksal çıktılar üzerinde çoğunluk oylaması yaklaşımı kullanılarak geliştirilen topluluk öğrenimi modeli ile %87.13 doğruluk, %85.44 kesinlik, %85.47 duyarlılık ve %85.40 F1 skor değeri elde edilmiştir. [16] nolu çalışmada, VGG16, ResNet50 ve InceptionV3 modelleri birleştirilerek elde edilen topluluk öğrenimi ile %79.26 doğruluk, %84 kesinlik, %79 duyarlılık ve %81 F1 skoru elde edilmiştir. [26] nolu çalışmada, mobil bir uygulama kullanarak deri lezyonu görüntü verileriyle maymun çiçeği hastalığının tespiti için düşük modifiyeli bir MobilNetV2 modeli tanıtılmıştır. Gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sonucunda %91.11 doğruluk, %90 kesinlik, duyarlılık ve F1 skoru bulunmuştur. Çizelge 4 incelendiğinde önceden eğitilmiş DenseNet201 modelinin karşılaştırmada kullanılan çalışmalardaki modellerden daha başarılı sonuçlar ürettiği açık bir şekilde görülmektedir.

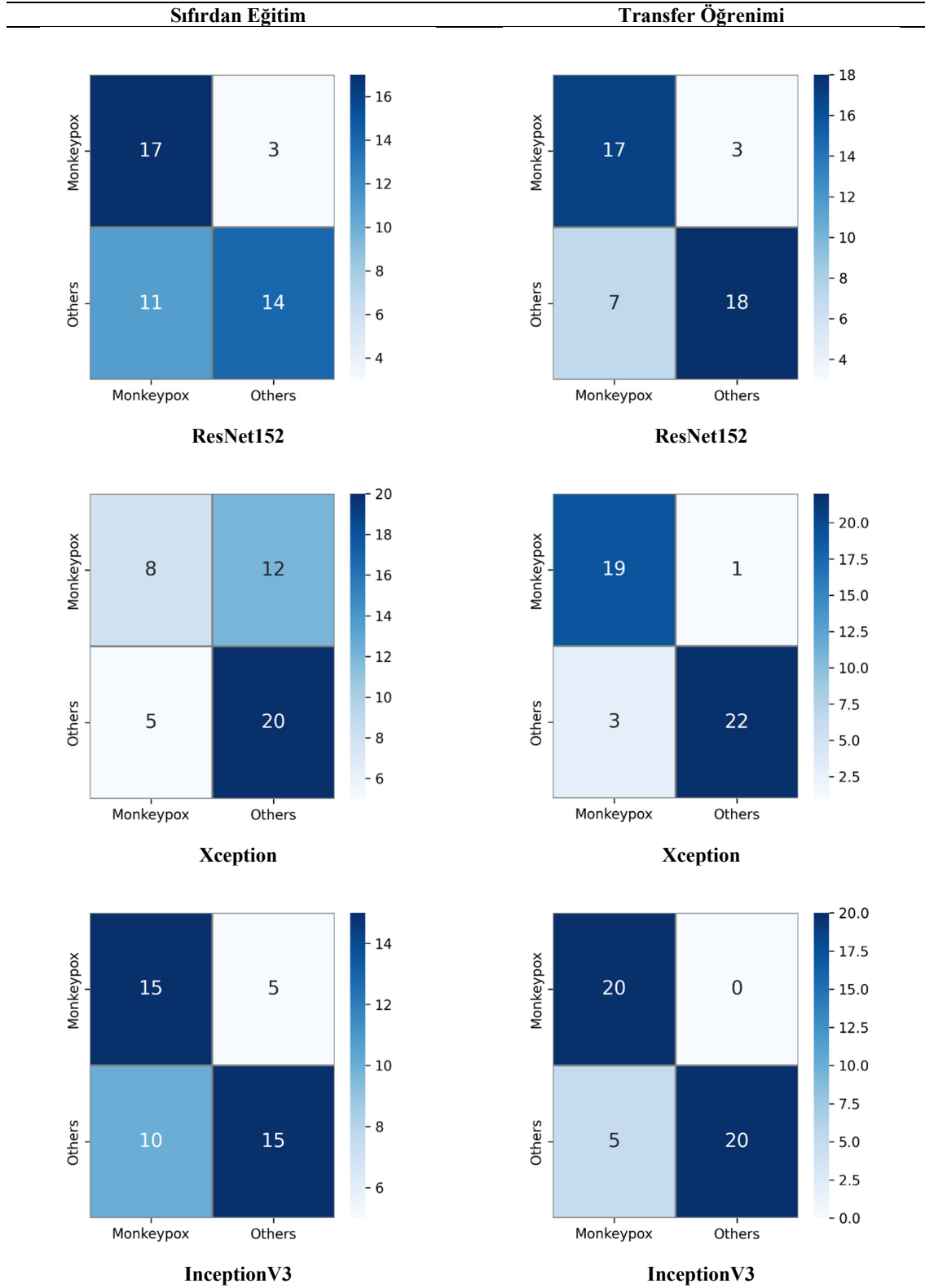
**Çizelge 4.** Literatürdeki farklı çalışmalar ile karşılaştırma

Literatürdeki çalışma	Doğruluk (%)	Kesinlik (%)	Duyarlılık (%)	F1 skor (%)
[12]	93.39	88.91	96.78	92.35
[14]	87.13	85.44	85.47	85.40
[16]	79.26	84.00	79.00	81.00
[26]	91.11	90.00	90.00	90.00
DenseNet201	95.56	95.46	96	95.73

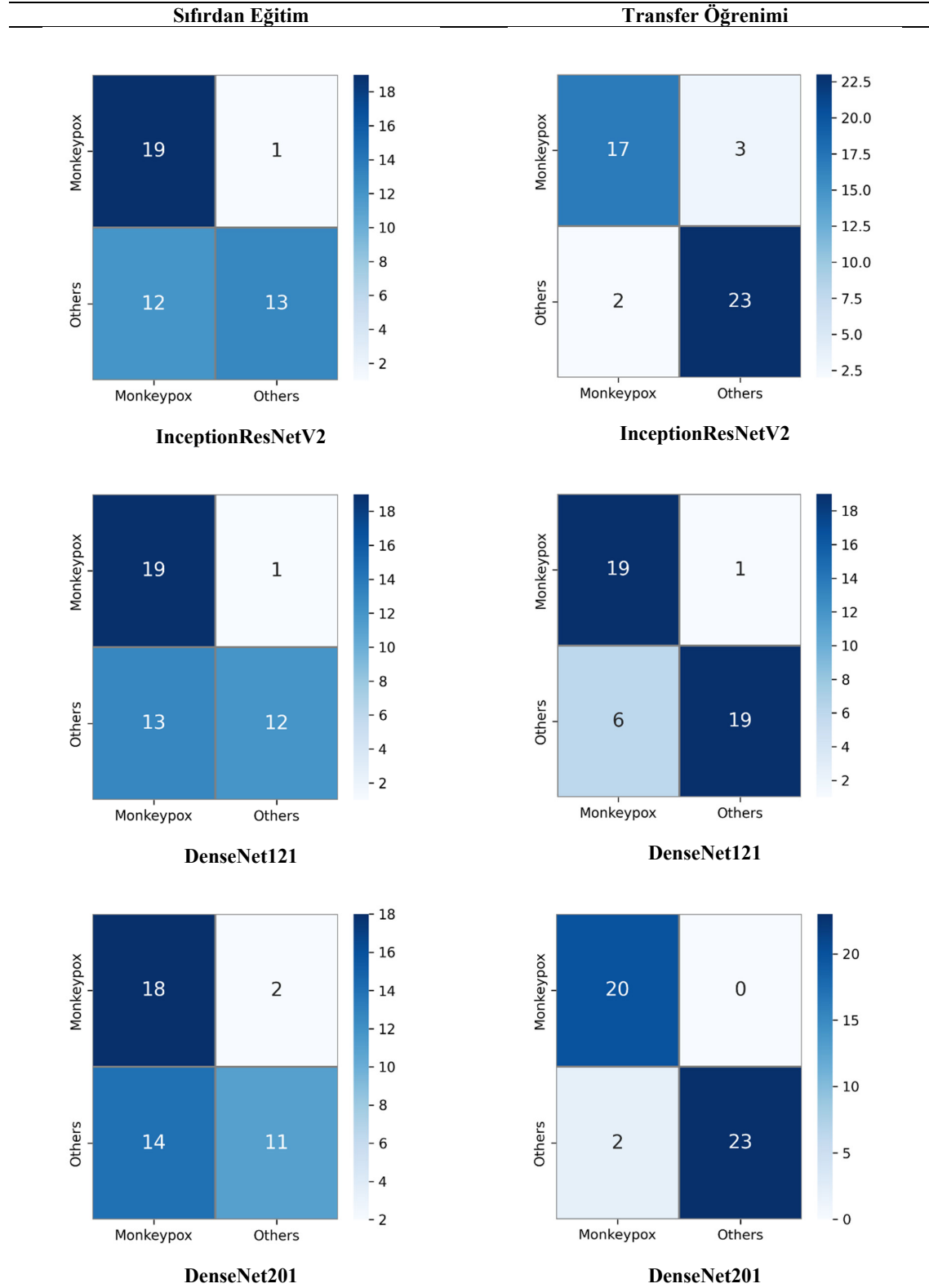


**Şekil 3.** Sıfırdan eğitim ve transfer öğrenimi kullanılarak önceden eğitilmiş modellerin karışıklık matrisleri (VGG16, ResNet50 ve ResNet101). Soldakiler sıfırdan eğitim sonucu elde edilen ve sağdakiler transfer öğrenimi kullanılarak elde edilen karışıklık matrisleridir





**Şekil 4.** Sıfırdan eğitim ve transfer öğrenimi kullanılarak önceden eğitilmiş modellerin karışıklık matrisleri (ResNet152, Xception ve InceptionV3). Soldakiler sıfırdan eğitim sonucu elde edilen ve sağdakiler transfer öğrenimi kullanılarak elde edilen karışıklık matrisleridir



**Şekil 5.** Sıfırdan eğitim ve transfer öğrenimi kullanılarak önceden eğitilmiş modellerin karışıklık matrisleri (InceptionResNetV2, DenseNet121 ve DenseNet201). Soldakiler sıfırdan eğitim sonucu elde edilen ve sağdakiler transfer öğrenimi kullanılarak elde edilen karışıklık matrisleridir

#### 4. Sonuçlar

Maymun çiçeği hastalığı son zamanlarda birçok ülkeye yayılan ölümcül bir hastalıktır. Bu hastalık, görüntüleme kullanılarak kolayca teşhis edilebilecek deri döküntülerine neden olmaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada, maymun çiçeği hastalığını, deri döküntülerine neden olan diğer benzer hastalıklardan (kızamık ve su çiçeği) teşhis etmek için dokuz transfer öğrenme tabanlı derin öğrenme modeli (VGG16, ResNet50, ResNet101, ResNe152, Xception, InceptionV3, InceptionResNetV2, DenseNet121 ve DenseNet201) kullanılmıştır. Tüm modellerin sınıflandırma performanslarının analizi için Kaggle platformunda yer alan maymun çiçeği deri lezyon veri seti (Monkeypox Skin Lesion Dataset) kullanılarak deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalarda orijinal veri setine veri arttırımı uygulanarak görüntü sayısı arttırılmıştır. Transfer öğrenimi kullanılarak önceden eğitilmiş modellerin daha iyi sınıflandırma performansı verdiğini göstermek için aynı veri seti ile modeller sıfırdan eğitilerek de deneyler gerçekleştirilmiştir. Sıfırdan eğitim işlemi sonucunda VGG16, ResNet50, ResNet101, ResNe152, Xception, InceptionV3, InceptionResNetV2, DenseNet121 ve DenseNet201 modelleri ile sırasıyla %68.89, %71.11, %68.89, %68.89, %62.22, %66.67, %71.11, %68.89, %64.44 doğruluk değerleri elde edilirken, önceden eğitilmiş modeller kullanıldığında sırasıyla %77.78, %84.44, %80, %77.78, %91.11, %88.89, %88.89, %84.44 ve %95.56 doğruluk değerleri elde edilmiştir. Doğruluk sonuçları göz önüne alındığında, transfer öğrenimi kullanılarak önceden eğitilmiş modellerin daha başarılı sınıflandırma sonucu elde ettiği açık bir şekilde görülmektedir. Önceden eğitilmiş modeller arasında ise en iyi doğruluk değeri ise DenseNet201 modeliyle elde edilmiştir. Literatürde aynı veri setini kullanan farklı çalışmalar ile gerçekleştirilen karşılaştırmalar sonucunda da DenseNet201 modelinin daha başarılı sonuç elde ettiği görülmektedir. Deneysel çalışmalar sonucunda, DenseNet201 modelinin maymun çiçeği hastalığının hızlı ve etkili teşhisine yönelik kullanılabilir bir yöntem olabileceği sonucuna varılmıştır.

Bu çalışmada kullanılan veri seti sınırlıdır. Gelecekteki çalışmalarda veri setindeki görüntü sayısının daha da arttırılarak geliştirilmesi planlanmaktadır. Ayrıca farklı ESA tabanlı mimariler kullanılarak sınıflandırma sonuçlarının arttırılması ve daha da güvenli bir sistemin oluşturulması da hedeflerimiz arasında bulunmaktadır.

#### Çıkar Çatışması Beyanı

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

#### Kaynaklar

- [1] Mileto D. New challenges in human monkeypox outside Africa: A review and case report from Italy. *Travel Medicine and Infectious Disease* 2022;49:102386.
- [2] Thornhill JP. Monkeypox Virus Infection in Humans across 16 Countries — April–June 2022. *The New England Journal of Medicine* 2022;387:679–691.
- [3] Sepehrinezhad A, Ashayeri Ahmadabad R, Sahab-Negah S. Monkeypox virus from neurological complications to neuroinvasive properties: current status and future perspectives. *Journal of Neurology* 2023;270:101–108.
- [4] WHO. Monkeypox Outbreak 2022. 2022. [Online]. Available: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/monkeypox>. [Accessed: 25-Oct-2023].
- [5] Beeson MA. Mpox in Children and Adolescents: Epidemiology, Clinical Features, Diagnosis, and Management. *Pediatrics* 2023;151:e2022060179.
- [6] Altindis M, Puca E, Shapo L. Diagnosis of monkeypox virus – An overview. *Travel Medicine and Infectious Disease* 2022;50:102459.
- [7] Paniz-Mondolfi A. Evaluation and validation of an RT-PCR assay for specific detection of monkeypox virus (MPXV). *Journal of Medical Virology* 2023;95:1–12.
- [8] Fomenko A. Assessing severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 infectivity by reverse-transcription polymerase chain reaction: A systematic review and meta-analysis. *Reviews in Medical Virology* 2022;32:1–13.

- [9] Nayak T. Deep learning based detection of monkeypox virus using skin lesion images. *Medicine in Novel Technology and Devices* 2023;18:100243.
- [10] Nayak T. Detection of Monkeypox from skin lesion images using deep learning networks and explainable artificial intelligence. *Applied Mathematics in Science and Engineering* 2023;31.
- [11] Chadaga K. Application of Artificial Intelligence Techniques for Monkeypox: A Systematic Review. *Diagnostics* 2023;13:1–16.
- [12] Pramanik R, Banerjee B, Efimenko G, Kaplun D, Sarkar R. Monkeypox detection from skin lesion images using an amalgamation of CNN models aided with Beta function-based normalization scheme. *PLoS One* 2023;18:1–21.
- [13] Almufareh MF, Tehsin S, Humayun M, Kausar S. A Transfer Learning Approach for Clinical Detection Support of Monkeypox Skin Lesions. *Diagnostics* 2023;13:1–16.
- [14] Sitaula C and Shahi T B. Monkeypox Virus Detection Using Pre-trained Deep Learning-based Approaches. *Journal of Medical Systems* 2022;46.
- [15] Ahsan MM, Uddin MR, Farjana M, Sakib AN, Al Momin K, Luna SA. Image Data collection and implementation of deep learning-based model in detecting Monkeypox disease using modified VGG16. 2022.
- [16] Ali S N. Monkeypox Skin Lesion Detection Using Deep Learning Models: A Feasibility Study. 2022:2–5.
- [17] Akın KD, Gürkan C, Budak A, Karataş H. Açıklanabilir Yapay Zeka Destekli Evrimsel Sinir Ağları Kullanılarak Maymun Çiçeği Deri Lezyonunun Sınıflandırılması. *European Journal of Science and Technology* 2022;40:106–110.
- [18] Bala D, MonkeyNet: A robust deep convolutional neural network for monkeypox disease detection and classification. *Neural Networks* 2023;161:757–775.
- [19] Tensorkitty. Monkeypox Skin Lesion Dataset. [Online]. Available: <https://www.kaggle.com/datasets/nafin59/monkeypox-skin-lesion-dataset/data>. [Accessed: 15-Oct-2023].
- [20] Simonyan K and Zisserman A. Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. In 3rd International Conference on Learning Representations, ICLR 2015 - Conference Track Proceedings 2015.
- [21] He K, Zhang X, Ren S, Sun J. Deep residual learning for image recognition. In Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2016: 770–778.
- [22] Chollet F. Xception: Deep learning with depthwise separable convolutions. 30th IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2017: 1800–1807.
- [23] Szegedy C, Vanhoucke V, Ioffe S, Shlens J, and Wojna Z. Rethinking the Inception Architecture for Computer Vision. Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern Recognition 2016: 2818–2826.
- [24] Szegedy C, Ioffe S, Vanhoucke V, Alemi AA. Inception-v4, inception-ResNet and the impact of residual connections on learning. AAAI-17: Thirty-First AAAI Conference on Artificial Intelligence 2017:4278–4284.
- [25] Huang G, Liu Z, Van Der Maaten L, Weinberger KQ. Densely connected convolutional networks. Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) 2017: 2261–2269.
- [26] Sahin V H, Oztel I, Yolcu Oztel G. Human Monkeypox Classification from Skin Lesion Images with Deep Pre-trained Network using Mobile Application. *Journal of Medical Systems* 2022; 46.

## EVALUATION OF AUSTEMPERING STUDY OF FERRITIC CAST IRON

**Tanju TEKER<sup>1\*</sup>, S. Osman YILMAZ<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, Sivas, 58140, Türkiye

<sup>2</sup>Namık Kemal Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Çorlu, Tekirdağ, 59160, Türkiye

Geliş Tarihi/Received Date: 16.02.2024 Kabul Tarihi/Accepted Date: 26.03.2024 DOI: 10.54365/adyumbd.1438508

### ABSTRACT

This study analyzed the effect of austempering temperatures on the structural characterization of ferritic spheroid cast irons. Austempering is the austenitization of the materials at 900 °C for an adequate period to obtain a complete austenitic structure and then quenching to an interval temperature for precipitation of ausferrite. Subcritical diffusion time was achieved as 1.5 h for 320, 420, and 520 °C ausferrite temperatures. Metallurgical description of samples was defined using optical microscopy, energy dispersive spectrometry, X-ray diffraction and microhardness. The austempering temperature had a remarkable effect on the phase variations of the ferritic ductile cast irons. The higher degree of austempering produced a coarser structure called ausferrite.

**Anahtar Kelimeler:** Austempering, Microstructure, Ausferrite, Hardness.

## FERRİTİK DÖKME DEMİRİN ÖSTEMPERLEME ÇALIŞMASININ DEĞERLENDİRİLMESİ

### ÖZET

Bu çalışmada, ferritik sfero dökme demirlerin yapısal karakterizasyonuna östemperleme sıcaklıklarının etkisi analiz edilmiştir. Östemperleme, tam bir östenit yapı elde etmek için malzemelerin 900 °C sıcaklıkta yeterli bir süre östenitlenmesi ve ardından bir aralık sıcaklığında su vermedir. Östemperleme 320, 420 ve 520 °C' de 1.5 saat süreyle elde edilmiştir. Numunelerin metalurjik karakterizasyonu, optik mikroskop, enerji dağılımlı spektrometri, X-ışını kırınımı, mikrosertlik kullanılarak belirlendi. Östemperleme sıcaklığı, ferritik sfero dökme demirlerin faz değişimleri üzerinde dikkate değer bir etkiye sahipti. Daha yüksek derecede östemperleme, ausferrit adı verilen daha kaba bir yapı üretti.

**Keywords:** Östemperleme, Mikroyapı, Ausferrite, Sertlik.

### 1. Introduction

Ferritic ductile cast iron (FDCI) consists of a ferritic matrix and a spheroidal graphite microstructure. After heat treatment, ausferrite, acicular ferrite and bainite can be observed in the structure [1-3]. The matrix with graphite is intended to create an ausferrite structure by isothermal heat treatments. FDCI has superiority such as lower density and cost, lubrication properties, high elongation and toughness [4,5]. Austempering is a method that produces austenite base structure in DCI. The

\*<sup>1</sup> e-posta: [tanjuteker@cumhuriyet.edu.tr](mailto:tanjuteker@cumhuriyet.edu.tr) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7293-0723> (Sorumlu Yazar)

<sup>2</sup> e-posta : [oyilmaz@nku.edu.tr](mailto:oyilmaz@nku.edu.tr) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7593-6135>

method is a two-step process. The first stage is austenitization for 1 to 4 h in the temperature level of 815–920 °C. It is then quickly quenched in a salt bath. The casting is held isothermally at the detected isothermal annealing temperature in the salt bath. Depending on the desired properties of the casting, the austenite annealing temperature range is 230–450 °C. At higher austempering values, the ferrite nucleates and transforms into austenite [6-8]. A less isothermal annealing temperature will produce a finer, larger ferrite rate and higher yield rate. Austempering time and degree are effective in the occur of ausferrite structure. A higher degree of austempering produces a smaller proportion of coarse ferrite [9-10]. Mandal et al. [11] reported the impress of austempering on the strength values of high-Si cast material. Austempering significantly improved the strength and ductility of the casting.

The aim of this research is to detect the impress of austempering temperatures on the structural characterization of Ce inoculated ferritic ductile cast irons.

## 2. Material ve Method

The chemical values of the samples included in the study was 3.10%C, Bal.%Fe, 4.30%Si, 0.24%Mn, 0.020%Cr, 0.12%Ce, 0.02%S, 0.025%P (wt.-%). Melting was done in a 300 kg induction furnace using steel scrap. Alloying elements were melted in an induction furnace at 1510 °C. The melt was transferred to the casting ladle at 1460 °C. The austempering parameters of test samples are presented in Table 1. In the first stage, the samples were austenitized at 900 °C for 1.5 h. Then, it was immersed in a salt bath for austempering and kept at this temperature for 1.5 h. Then the samples were cooled to room temperature. Austempering was applied at temperatures of 320, 420 and 520 °C. For metallographic studies, samples were sanded using 80-1200 mesh emery paper and polished a 2 µm diamond solution. After etching with 2% nital solution, it was examined by optical microscopy (OM), energy distribution spectrometry (EDS). Phase contents were identified by Bruker brand X-ray diffraction (XRD) in Cu-K $\alpha$  radiation. Microhardness results was detected using a 100 g load at 0.5 mm intervals on the Qness Q10 microhardness machine.

**Table 1.** The austempering parameters of test samples.

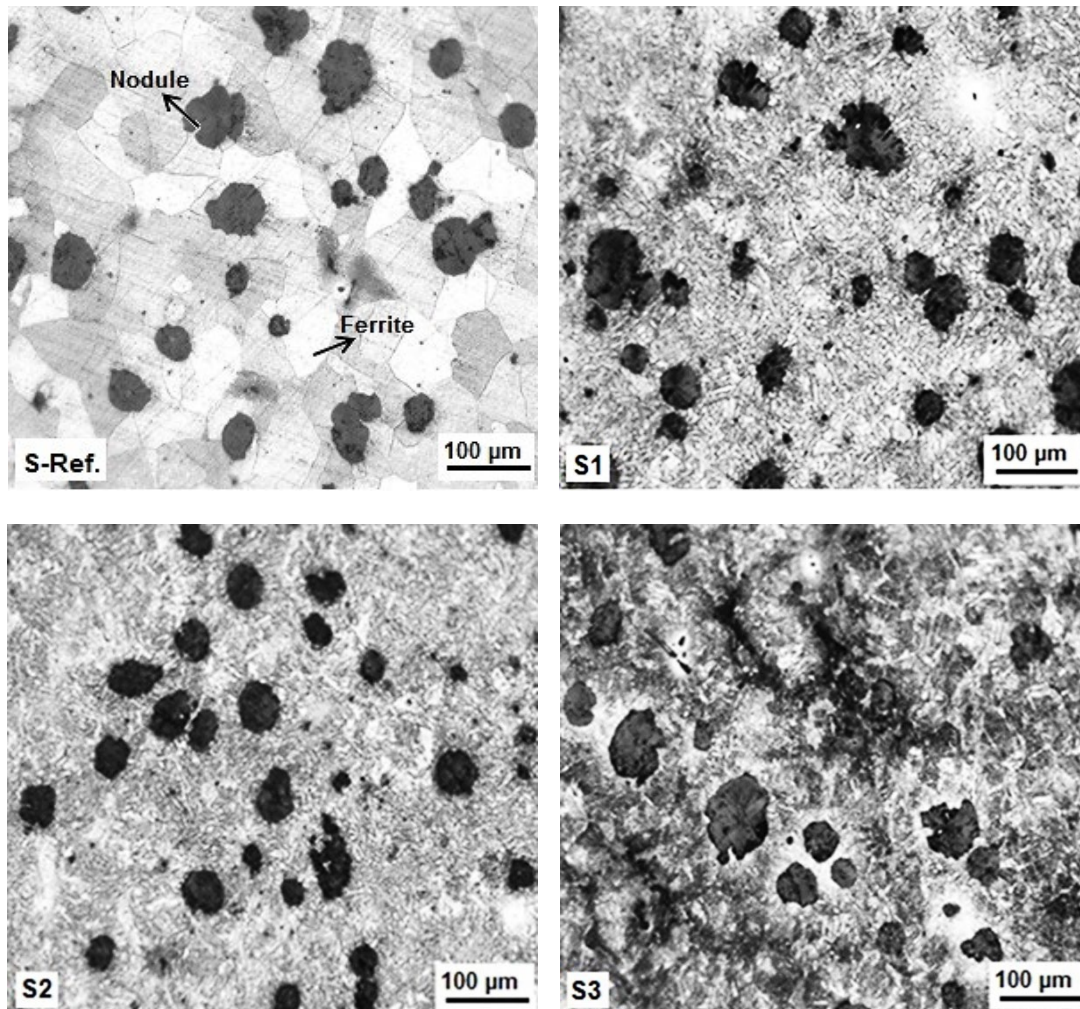
No	Destabilization Temperature	Destabilization Time	Subcritical Diffusion Temperature	Subcritical Diffusion Time	Quenching
S-Ref.	As-Cast	-	-	-	-
S1	900 °C	1.5h	320	1.5h	Air
S3	900 °C	1.5h	420	1.5h	Air
S4	900 °C	1.5h	520	1.5h	Air

## 3. Experimental results

### 3.1 Evaluation of microstructure

Fig. 1 shows OM micrographs of S-Ref, S1, S2, S3 specimens austenitized at 900 °C and austempered at 320, 420 and 520 °C. The ADI structure consisted of pearlite, graphite and ferrite. The microstructure of the austempered sample contained acicular dark ferrite and ausferrite. When the subcritical phase transformation temperature was low as 320 °C, the ferrite layers were unevenly oriented and thin. As the subcritical temperature increased from 320 °C to 420 °C, bainitic ferrite laths grew up. Austenite was sandwiched between adjacent ferrites. A thickness rich in austenite and carbon was obtained. In the first step of the transformation, ferrite nucleated at austenite grain boundaries and separated into plates or laths before transforming into carbon austenite. Therefore, ferrite and ausferrite

emerged in the structure of the samples. The ausferrite formed in the first stage of the transformation had upper lateral growth, and the surrounding ferrite contained less carbon. The EDS values of the casting sample is displayed in Fig. 2. C, Fe, Ce, Si, Mn, S were the main elements of the casting sample. The white particles in Fig. 2 show that the primary precipitates are  $Ce_2O_2S$  with heterogeneous nuclei.  $Ce_2O_2S$  inclusions produced thinner primary ausferrites. It provided heterogeneous nucleation of ausferrites [12].



**Figure 1.** Optical micrographs of austempered samples at 320, 420, 520 °C at 1.5 h.

The silicon content in the produced ductile iron castings is desired in the range of 2.45-2.80%. It was sufficient to prevent melt cooling and at the same time facilitate the production of sufficient nodules [13]. The excessive silicon contained in the ferritic iron suppressed cementite precipitation during the austempering and retained a significant amount of stable high-carbon austenite.

Austenite and ferrite gradually coarsened as the austempering degree increased. Very slim ferrite and austenite were obtained at the lower austempering temperature. On the other hand, rough and hairy ferrite characteristics of upper bainite were obtained at higher austempering degrees. As austempering progresses, these ferrite needles increase larger and as a result the remaining austenite absorbs carbon, thereby increasing the carbon intensity of the austenite [14,15]. At higher temperatures, decomposition of austenite to ferrite occurred due to the free energy diversity. At higher temperature, austenite was precipitated by spread of carbon into existing graphite nodules along grain boundaries. At high subcritical diffusion temperatures, the ferrite structure nucleated and transformed



into ausferrite. At higher subcritical diffusion temperatures such as 420–520 °C, the rate of ausferrite incremented. At 520 °C, large areas of austenite separated from each other and coarse ferrite formed. The increasing the subcritical diffusion temperature led the ausferrite spicules to thicken and the ferrite velocity to increase. Average lath and ausferrite lengths were the same [16, 17]. It produced finer and larger volume ferrite fractions at lower critical diffusion temperatures. The X-ray patterns of the produced ferritic ductile iron are presented in Fig. 3. The base phases created in the samples were ferrite ( $\alpha$ ), ausferrite, graphite.

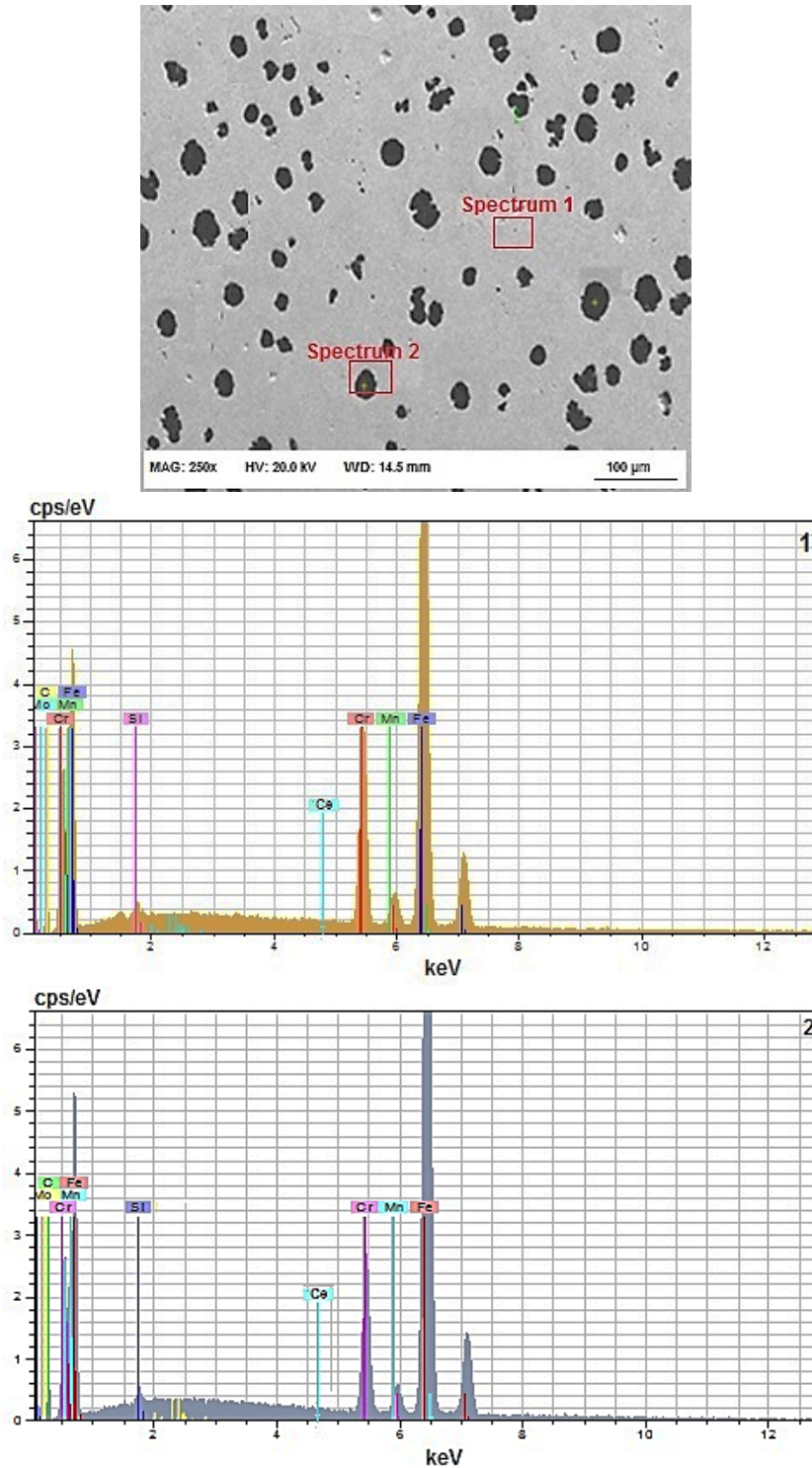


Figure 2. EDS analysis of S-Ref sample.



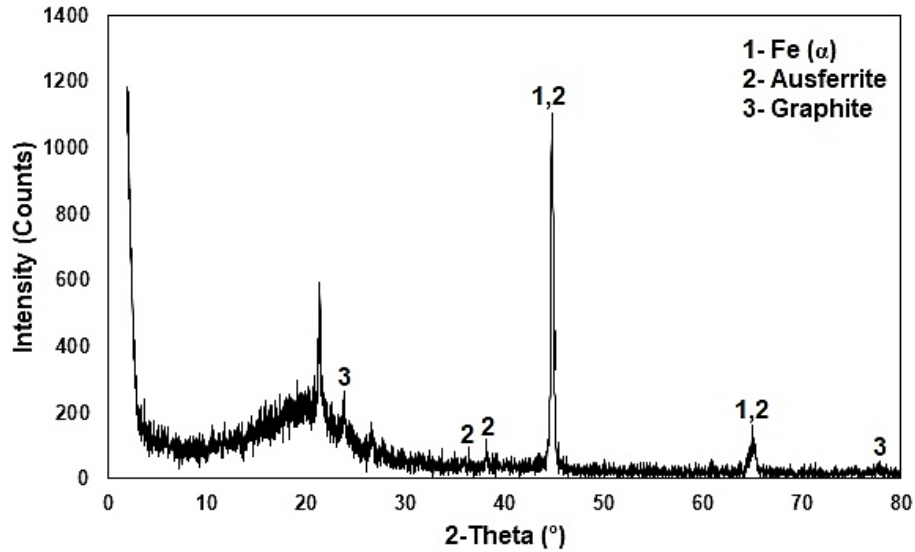


Figure 3. XRD results of S3 sample.

### 3.2. Hardness

The effect of austenitizing temperature on the hardness is shown in Fig. 4. The hardness increased as the subcritical diffusion temperature decreased. Fine ausferrite created at low subcritical diffusion temperatures had higher hardness. The hardness of ausferrite appeared at higher temperatures was lower. As the isothermal annealing temperature increased, the extent and interval of austenite became more favorable for the transformation of austenite to martensite. Austenite was a softer structure and increasing austenite ratio reduced the hardness. In addition, grain coarsening caused a decrease in hardness [18-20].

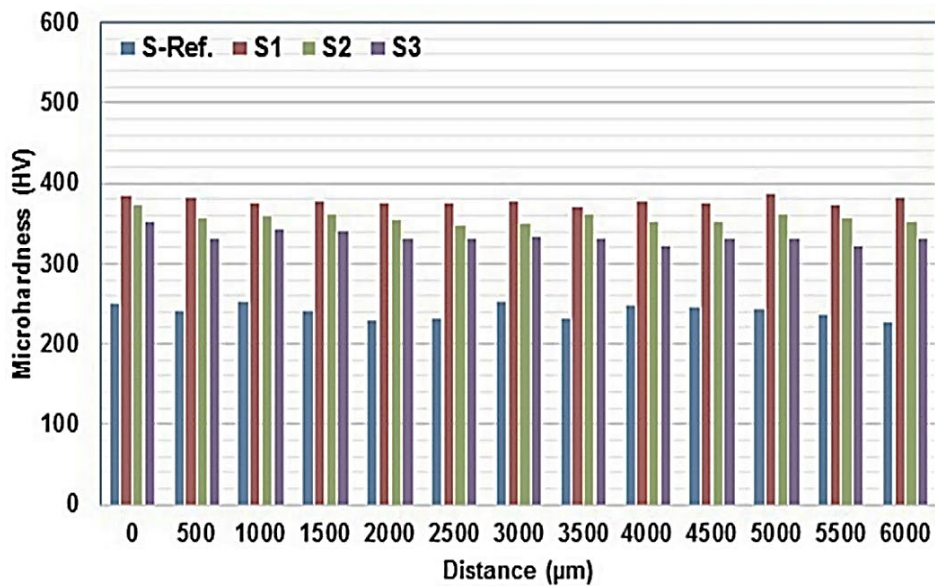


Figure 4. The hardness amounts of as-cast and austempered samples.

#### 4. Conclusion

The results obtained are as follows:

The austempering degree had a remarkable action on the phase variations of the ferritic cast irons.

The higher degree of austempering produced a coarser structure called ausferrite.

Finer and larger bulk ferrite were obtained at the lower austempering temperature.

Hardness raised from 240 HV to 360-380 HV by austempering heat treatment. But, it declined due to the coarser ausferritic appeared with increasing austempering temperature.

The phases created in the samples were ferrite ( $\alpha$ ), ausferrite, graphite.

#### Acknowledgment

The authors were grateful to Kayalar Copper Industry and Trade Incorporated Company for their assistance in conducting the experiments.

#### Disclosure statement

No potential conflict of interest was reported by the authors.

#### References

- [1] Chang LC. Carbon content of austenite in austempered ductile iron. *Scripta Materialia* 1998; 39: 35–38.
- [2] Ławrynowicz Z, Dymski S. Mechanism of bainite transformation in ductile iron ADI. *Archives of Foundry Engineering* 2006; 6: 171–176.
- [3] Szykowny T. Isothermal eutectoidal transformation in ductile cast iron EN-GJS-500-7. *Archives of Foundry* 2005; 5: 303–312.
- [4] Dymski S, Giętka T. Influence of gradual austenitizing on chosen properties of ADI. *Archives of Foundry Engineering* 2008; 8: 185–190.
- [5] Giętka T, Dymski S. Predicting ADI mechanical properties. *Archives of Foundry Engineering* 2009; 9: 267–274.
- [6] Nofal AA. Advances in the metallurgy and applications of ADI. *Journal of Metallurgical Engineering* 2013; 2: 1–18.
- [7] Jianghuai Y, Putatunda SK. Influence of a novel two-step austempering process on the strain-hardening behaviour of austempered ductile cast iron (ADI). *Materials Science and Engineering A* 2004; 382: 265–279.
- [8] Kiani-Rashid AR. Influence of austenitising conditions and aluminium content on microstructure and properties of ductile irons. *Journal of Alloys and Compounds* 2009; 470: 323–327.
- [9] Sidjanin L, Rajnovic D, Eric O, Smallma RE. Austempering study of unalloyed and alloyed ductile irons. *Materials Science and Technology* 2010; 26: 567–571.
- [10] Ramadan M, Fathy N. Influence of semi-solid isothermal heat treatment on microstructure and mechanical properties of ductile cast iron. *Journal Minerals and Materials Characterization Engineering* 2014; 2: 26–31.
- [11] Mandal D, Ghosh M, Pal J, De PK, Ghosh Chowdhury S, Das SK, Das G. Effect of austempering treatment on microstructure and mechanical properties of high-Si steel. *Journal of Materials Science* 2009; 44: 1069–1075.
- [12] Ochulor EF, Adeosun SO, Amuda MOH, Balogun SA. Strength characteristics of inoculated and nodularized thin wall ductile iron castings. *Journal Minerals and Materials Characterization Engineering* 2015; 3: 94–105.
- [13] Qu Y, Xing J, Zhi X, Peng J, Fu H. Effect of cerium on the as-cast microstructure of a hypereutectic high chromium cast iron. *Materials Letters* 2008; 62: 3024–3027.

- [14] Aranzabal J, Serramoglia G, Rousiere D. Development of a new mixed (ferritic-ausferritic) ductile iron for automotive suspension parts. *International Journal of Cast Metals Research* 2003; 16: 185–190.
- [15] Rao PP, Putatunda SK. Comparative study of fracture toughness of austempered ductile irons with upper and lower ausferrite microstructures. *Materials Science and Technology* 1998; 14: 1257–1265.
- [16] Rao PP, Putatunda SK. Dependence of fracture toughness of austempered ductile iron on austempering temperature. *Metallurgical Materials Transactions A* 1998; 29: 3005–3016.
- [17] Erdogan M, Kilicli V, Demir B. Transformation characteristics of ductile iron austempered from intercritical austenitizing temperature ranges. *Journal of Materials Science* 2009; 44: 1394–1403.
- [18] Yang J, Putatunda SK. Improvement in strength and toughness of austempered ductile cast iron by a novel two-step austempering process. *Materials and Design* 2004; 25: 219–230
- [19] Benam AS. Effect of alloying elements on austempered ductile iron (ADI) properties and its process: Review. *China Foundry* 2015; 12: 54–70.
- [20] Erdogan M, Kilicli V, Demir B. The influence of the austenite dispersion on phase transformation during the austempering of ductile cast iron having a dual matrix structure. *International Journal of Materials Research* 2008; 99, 751–760.