

GAZI
JOURNAL OF
ENGINEERING
SCIENCES



GAZİ

JOURNAL OF ENGINEERING SCIENCES

EDİTÖR / EDITOR - IN – CHIEF

İsmail ŞAHİN

Gazi University, Ankara, Turkey
e-mail: editorgjes@gmail.com

YARDIMCI EDİTÖRLER / ASSOCIATE EDITORS

Harun GÖKÇE

Gazi University
e-mail: harungokce@yahoo.ca

Zeynep AYTAÇ YILMAZ

Gazi University
e-mail: zeynepaytac@gazi.edu.tr

ALAN EDİTÖRLERİ / SECTION EDITORS

Abdullah AKDOĞAN

Pamukkale University

Adem TEKEREK

Gazi University

Alper BÜYÜKKARAGÖZ

Gazi University

Amin MIRZAPOUR

Zanjan İslami Azad University

Ayhan AYTAÇ

National Defense University

Bülent ÖZKAN

Gazi University

Erdem CÜCE

Recep Tayyip Erdoğan University

Fecir DURAN

Gazi University

Fatih ŞAHİN

Gazi University

G. Serdar TOMBUL

ASELSAN

Halil KARAKOÇ

Hacettepe University

Hüseyin GÖKÇE

Çankırı Karatekin University

M. Hanefi CALP

Karadeniz Technical University

Mustafa BOZ

Karabük University

Mustafa GÜNAY

Karabük University

Serhat KARAP

TUBİTAK-SAGE

Tayfun MENLİK

Gazi University

Umit ATİLA

Gazi University

YAYIN DANIŞMA KURULU / ADVISORY BOARD

Adnan SÖZEN

Gazi University, Turkey

Andrew PINKERTON

Lancaster University, England

Bekir Sami YILBAŞ

King Fahd University, Sudia Arabia

Farzollah MIRZAPOUR**Majid MEGHDADI**

University of Zanjan, Iran

Mustafa KURT

Gazi University, Turkey

Nowruz ALLAHVERDİ

Karatay University, Turkey

Reza Negarastani

GAZİ

JOURNAL OF ENGINEERING SCIENCES

University of Zanjan, Iran

Herbert M. REYNOLDS
Michigan State University, USA

Jamal KHATIB
University of Wolverhampton, England

John KINUTHIA
University of South Wales, England

Jonathan C. BORG
University of Malta, Malta

Hossam KISHAWY
University of Ontario Technology, Canada

Kürşad SEZER
Gazi University, Turkey

RIETEX, England

Salman NISAR
National University of Sci. and Tech., Pakistan

Shahin JALILI
Tebriz University, Iran

Şakir TAŞDEMİR
Selçuk University, Turkey

Tahsin Tecelli ÖPÖZ
John Moores University, England

Yasir JOYA
GIK Institute, Pakistan

DİL EDİTORLERİ / LANGUAGE EDITORS

Türkçe/Turkish: V. Savaş YELOK (Hacı Bayram Veli University)

İngilizce/English: H. Kürşad SEZER (Gazi University)

TEKNİK EDİTÖR / TECHNICAL EDITOR

Neslihan TOP
Gazi University

Nurullah YÜKSEL
Gazi University
e-mail: editorgjes@gmail.com

BU SAYININ HAKEMLERİ / REVIEWER OF THIS ISSUE

Adnan AKKURT

Arif UZUN

Baki ÖZTÜRK

Barış ÖZLÜ

Başak GÖK

Berkant DİNDAR

Ergün EKİCİ

Erkan BAHÇE

Ferdi CİHANGİR

Ferhat ATASOY

Gürcan KONAK

Hüseyin GÖKÇE

İlyas Devran ÇELİK

Kemal AKYOL

Kenan TOKLU

Mehmet BİBERCİ

Melek AKGÜL

Mert BAYRAKTAR

Meryem POLAT GÖNÜLLÜ

Muhammed ELİTAŞ

Murat UÇAR

Murat YÜCEL

Pelin CANBAY

Rukiye KARAKIŞ

Saruhan KARTAL

Sinan FİDAN

Tuncay ŞİMŞEK

Ulaş MATİK

Ulkar BAYRAMOVA

Yusuf Yargı BAYDİLLİ (2 Kez)

Gazi Journal of Engineering Sciences has been published three issues per year

CORRESPONDENCE ADDRESS :

Gazi Akademik Yayıncılık



GAZİ

JOURNAL OF ENGINEERING SCIENCES

Mustafa Kemal Mah. 2118 Cad. No:4C/140 Çankaya/Ankara
Tel: +90-312-9113311 Fax: +90-312-9113312
e-mail: editorgjes@gmail.com

GAZİ

JOURNAL OF ENGINEERING SCIENCES

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

FDM Yöntemi ile Üretilen Güçlendirilmiş Çekirdek Hücrelerin Basınç Dayanımı, Enerji Sönümleme Özellikleri ve Deformasyon Modlarının İncelenmesi <i>Investigation of the Compressive Strength, Energy Absorption Properties and Deformation Modes of the Reinforced Core Cell Produced by the FDM Method</i> Erman ZURNACI, Haydar Kadir ÖZDEMİR	1-11
Kan Damarı ve Optik Disk Bölütlemesi için Karar Destek Sistemi <i>Decision Support System for Blood Vessel and Optic Disc Segmentation</i> Cihan AKYEL, Nursal ARICI	12-26
Türkiye’de Kömür Madenciliğinde Etkinlik Değişimi <i>Efficiency Change in Coal Mining in Türkiye</i> M. Esra ATUKALP, Ayhan KESİMAL	27-36
Farklı Tipte Korozyon Hasarlı Çelik Bulonlu Birleşimlerin Yapısal Davranışı <i>Structural Behavior of Steel Bolted Connections having Different Types of Corrosion Damage</i> Yasin DUYSAK, Günnur YAVUZ	37-45
Atmosferik Türbülansın Gauss Işının Üzerindeki Etkisi <i>Effect of Atmospheric Turbulence on Gaussian Beams</i> Kholoud ELMABRUK, Gamze Nur SEÇİLMİŞ	46-52
Cam Elyaf ile Güçlendirilmiş Yüksek Performanslı İleri Polimerlerin Analizi <i>Analysis of High-Performance Advanced Polymers Reinforced with Glass Fiber</i> Hasan OKTEM, Halit KARASUNGUR, Ahmet EROĞLU	53-62
Çok Sınıflı ve Dengesiz Eğitimsel Veri Kümesiyle Yükseköğretim Planlama ve Karar Destek Sistemi: Teknoloji Fakültesi Örneği <i>Higher Education Planning and Decision Support System with Multi-Class and Imbalanced Educational Dataset: A Case Of Technology Faculty</i> Esra YILMAZ, Zehra Aysun ALTIKARDEŞ, Hasan ERDAL	63-78
Dikdörtgen Kapların Derin Çekilmesinde Kalıp Geometrisinin Kap Cidar Kalınlıkları Üzerindeki Etkisi <i>The Effect of Die Geometry on Wall Thicknesses of Cup in Deep Drawing of Rectangular Cups</i> Cebeli ÖZEK, Emre SUER	79-92
SILAR Yöntemiyle Üretilen SnO ₂ İnce Filmin Yapısal, Morfolojik ve Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi <i>Investigation of Structural, Morphological and Electrical Properties of SnO₂ Thin Film Grown by SILAR Method</i> Tugba CORLU, Selim ACAR	93-99
Kriyojenik İşlemin 1.2436 Çeliğinin Mikro Yapısı, Sertliği ve Aşınma Davranışı Üzerindeki Etkileri <i>Effects of Cryogenic Treatment on the Microstructure, Hardness, and Wear Behavior of 1.2436 Steel</i> Nursel ALTAN ÖZBEK	100-107

GAZİ**JOURNAL OF ENGINEERING SCIENCES**

Lehmer Algoritması Tabanlı Rastgele Anahtar ile Şifrelenmiş Görüntüleri Kullanarak Nesne Tespitli
Doğrulama Yoluyla Güvenli Mesaj İletimi

*Secure Message Transmission Via Object Detection Verification Using Images Encoded With Lehmer
Algorithm Based Random Key*

Simay HOŞMEYVE, Arda Cem BİLECAN, Bahadır KARASULU, İsmet ÜNLÜ.....108-127

Kan Yayma Görüntülerinin Mask R-CNN Tabanlı Segmentasyonu ve Sınıflandırılması

Mask R-CNN Based Segmentation and Classification of Blood Smear Images

Hilal Atıcı, Hasan Erdinç Koçer.....128-143

Depremde Ev Eşyalarının Devrilme Analizi

Overturning Analysis of Household Goods During Earthquake

M. Ali KALAYLI, Orhan DOĞAN, Hale Nurefsan KOÇ.....144-152

GAZİ

JOURNAL OF ENGINEERING SCIENCES

Investigation of the Compressive Strength, Energy Absorption Properties and Deformation Modes of the Reinforced Core Cell Produced by the FDM Method

Erman Zurnacı^{a,*}, Haydar Kadir Özdemir^b

Submitted: 21.12.2022 Revised: 07.03.2023 Accepted: 12.03.2023 doi:10.30855/gmbd.0705047

ABSTRACT

Sandwich panels are used in many sectors that require structural weight savings such as defence, aviation and automotive industry. The most important factor over the mechanical strength of sandwich panels is the core design. The core design of sandwich panels with periodic cells is formed by repetitive production of the unit cell geometry. In this study; the compressive strength of the developed reinforced core cell was experimentally investigated under quasi-static compression load, and the test results were compared with the conventional honeycomb core. Experimental test samples were carried out by Fused Deposition Modeling (FDM) using PLA filament material. When the experimental test results for two different core designs were compared, it was determined that the reinforced core cell produced at 20% filling rate increased the maximum crushing resistance of the core by 28.54% and the energy absorbing capacity by 23.4%. According to the observed deformation behaviours, it was determined that the reinforced core cell kept the deformation load on the core axis during the compression test and delayed the core wall buckling. In addition, it was determined that the filling rate determined during production was effective on the deformation of the core and compression strength.

Keywords: Additive manufacturing, core structure, honeycomb core, mechanical performance, compression testing.

^{a,*} Kastamonu University,
Engineering and Architecture Faculty,
Dept. of Mechanical Engineering
37150 - Kastamonu, Türkiye
Orcid: 0000-0003-1298-4054
e mail:
ermanzurnaci@kastamonu.edu.tr

^b Kastamonu University,
Institute of Science,
Dept. of Mechanical Engineering
37150 - Kastamonu, Türkiye
Orcid: 0000-0001-7080-4029

*Corresponding author:
ermanzurnaci@kastamonu.edu.tr

FDM Yöntemi ile Üretilen Güçlendirilmiş Çekirdek Hücrelerin Basınç Dayanımı, Enerji Sönümlenme Özellikleri ve Deformasyon Modlarının İncelenmesi

ÖZET

Sandviç paneller savunma sanayisi, havacılık ve otomotiv gibi yapısal ağırlık tasarrufu gerektiren birçok alanda kullanılmaktadır. Sandviç panellerin mekanik performansı büyük oranda çekirdek tasarımından etkilenmektedir. Periyodik hücrelere sahip sandviç panellerin çekirdek tasarımı ise birim hücre geometrisinin tekrarlı olarak üretilmesi ile oluşturulmaktadır. Bu çalışmada; geliştirilen güçlendirilmiş çekirdek hücrenin basma mukavemeti yarı statik basma yükü altında deneysel olarak incelenmiş, test sonuçları geleneksel bal peteği çekirdek ile karşılaştırılmıştır. Deneysel test numuneleri Eklemeli İmalat Yöntemi ile PLA Filament kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İki farklı çekirdek tasarımı için deneysel test sonuçları kıyaslandığında, %20 doluluk oranında üretilen güçlendirilmiş çekirdek hücrenin, çekirdeğin maksimum ezilme direncini %28.54 oranında, enerji sönümlenme kapasitesini ise %23.4 oranında arttırdığı tespit edilmiştir. Çekirdeklerin deformasyon davranışları incelendiğinde, güçlendirilmiş çekirdek hücrenin basma testi sırasında deformasyon yükünü çekirdek ekseninde tuttuğu, duvar ayrılmasını geciktirdiği tespit edilmiştir. Ayrıca üretim esnasında belirlenen doluluk oranının çekirdeğin deformasyonu ve sıkışma direnci üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Eklemeli imalat, çekirdek yapısı, balpeteği çekirdek, mekanik performans, sıkıştırma testi

1. Introduction

The design and functionality of engineering materials have been one of the important issues that researchers have focused on for centuries. With the developing production technologies, the usage areas of engineering materials with different properties have increased even more. New structural components with advanced features are used in the design and production of transportation vehicles such as airplanes, high-speed trains and automotive, and even satellites [1]. In the design of these components, low density and weight as well as high mechanical strength factors are taken into account. Moreover, the contribution of easy manufacturability and sustainable materials to the design is important.

With the development of three-dimensional printers, it has become possible to produce parts with complex geometries. The additive manufacturing method, which is a much faster and cheaper production technique compared to traditional production methods, is being used in more and more areas [2, 3, 4]. The fact that the production parameters can be easily changed also brings many advantages in terms of optimization studies. Depending on the usage areas of the products to be developed, researchers can use filaments produced from different materials and optimize the weight or mechanical strength of the product in accordance with the preferences [4, 5]. In addition, it can be said that the additive manufacturing technique, which does not create waste during production, minimizes the negative environmental effects. This flexible production technique has become an increasingly popular subject in academic studies due to the advantages it provides.

Optimization of engineering designs aims to reveal the most efficient design by optimizing parameters such as mechanical strength, weight, production time and cost. Structural weight was the most important factor affecting the energy consumption of light transportation systems and thus carbon dioxide emissions [6, 7]. For this reason, while increasing the structural mechanical strength, other parameters should be optimized at certain rates.

When the studies in the related literature are examined, it is seen that instead of increasing the material thickness in order to save weight while increasing the strength of the structural components, the use of sandwich panels as body components in the structural design is recommended [8-10]. Sandwich structures consist of two thin surface plates separated by a core structure. Although sandwich panels have low weight, they have high crush resistance and bending strength [11]. Surface plates are usually produced using aluminium and its alloys, steels, titanium and composite materials [12]. The core design of the sandwich structure is one of the most important factors affecting the mechanical performance under different loads [13, 14]. For this reason, studies on the mechanical performance of sandwich panels generally focus on core design [19]. It is stated that the mechanical properties of sandwich structures are mainly affected by three factors: density of the core, material properties and core geometry [15]. Many types of periodic core structures, often defined as cellular structures, have been proposed and developed to further improve the mechanical properties of sandwich structures [16, 17].

Although different core geometries are used in sandwich structures, one of the most used core structures is honeycomb cells with hexagonal geometry [8]. Sandwich structures with honeycomb core are preferred due to their high energy absorption capacity, lightness, high shear and compression stiffness, sound insulation and high corrosion resistance [18-20]. The honeycomb core structure consists of periodic core unit cells similar to the corrugated core, but unlike the corrugated core structure, about 90-99 percent of the cores consist of open spaces [21]. It is observed in the studies in the literature that the hexagonal honeycomb core dimensions determine the density of the sandwich structure and in this direction, the cell density is increased in order to obtain more durable structures [22]. In order to benefit from the mechanical advantages of hexagonal honeycomb core structures in different areas, it is important to understand the mechanical properties of these structures. Compression, bending, impact and tensile tests are the most commonly used methods for determining the mechanical properties of core structures.

Crupid et al., in their study, examined the mechanical properties of the panels by applying bending and impact tests to aluminum honeycomb sandwich panels. They observed that the energy absorption capacity of the sandwich panel was strongly influenced by the size of the honeycomb cells [23]. Aktay et al. applied experimental tests to composite sandwich panels and stated that core deformation is the

determining factor for the energy absorption capacity of sandwich panels [24]. Wu and Jiang focused on investigating the compression behavior of hexagonal honeycomb structures under static and dynamic loading conditions. For higher energy dissipation under quasi-static loading conditions, they recommended the use of honeycomb structures made of high-strength material with small cell size and low core height [25]. Yamashita and Gotoh investigated the effect of cell shape and honeycomb cell wall thickness on crushing behavior by examining the quasi-static compression response of aluminium honeycomb structures. Experimental test results showed that the damage occurred in all cases, the crushing strength was higher for smaller cell angle, and also the effect of honeycomb thickness on crushing strength [26]. In order to determine the damage types and mechanical properties, bending tests were performed on sandwich structures with hexagonal honeycomb cores and it was determined that the damage occurred when the surface plate exceeded the mechanical strengths [27]. In another study, the researchers examined the behavior of sandwich panels under quasi-static compression load and stated that the cores have high energy absorption ability and crushing force [28]. When the literature studies were evaluated, it was determined that the mechanical properties of cores with honeycomb geometry depend on their relative density, cell geometry and elastic modulus. In addition, more experimental studies are needed to determine the deformation failure modes of hexagonal honeycomb core sandwich panel cores.

In this study, a new core cell design was developed to examine and improve the effect of core design on the mechanical strength of the sandwich panel. For this purpose, an experimental study was conducted to examine the mechanical properties and damage modes of hexagonal honeycomb core structures produced using additive manufacturing technology under compression force. In experimental studies, the effect of core design on mechanical strength was compared by using samples with traditional honeycomb core design and reinforced core design.

In this study, an experimental study was carried out to examine and improve the effect of core design on the mechanical strength of the sandwich panel. For this purpose, an experimental study was conducted to examine the mechanical properties and deformation modes of hexagonal honeycomb core structures produced using additive manufacturing technology under compression force. In experimental studies, the effect of core design on mechanical strength was compared by using samples with traditional honeycomb core design and reinforced core design.

2. Material and Method

In order to increase the mechanical strength of the hexagonal honeycomb core structure under axial compression load, reinforced core cell was used. The reinforced core cell has conical support bars to increase the mechanical strength of the cell walls and maintain cell integrity during deformation.

The reinforced core unit cell design and the full cross-sectional view of the cell components are given in Figure 1. Conical support bars aim to provide load transfer under crushing load by connecting to the cell walls. The transfer filler will connect the surface and core cells both when connecting the tapered support bars and when using surface plates for sandwich panels.

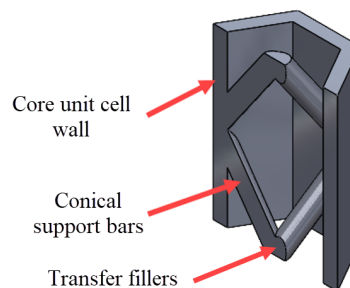


Figure 1. Reinforced core unit cell design

In order to experimentally determine the mechanical performance of the core cell design, three-dimensional solid models of honeycomb (HC) and reinforced core cell (RC) samples consisting of 3x3 unit cells were created using solid modelling software. The core dimensions are 27.2 x 46.54 x 47.96 mm, the cell wall thickness is 2 mm, and the outer circumference diameter of the hexagonal unit cell is

20 mm. The diameter of the conical support bars of the HC and RC samples is 3 mm (Figure 2). The conical support bars in the cores of the HC and RC samples are designed to make an angle of 55° from the base plane. The isometric and top views of the core cell models are given in Figure 3.

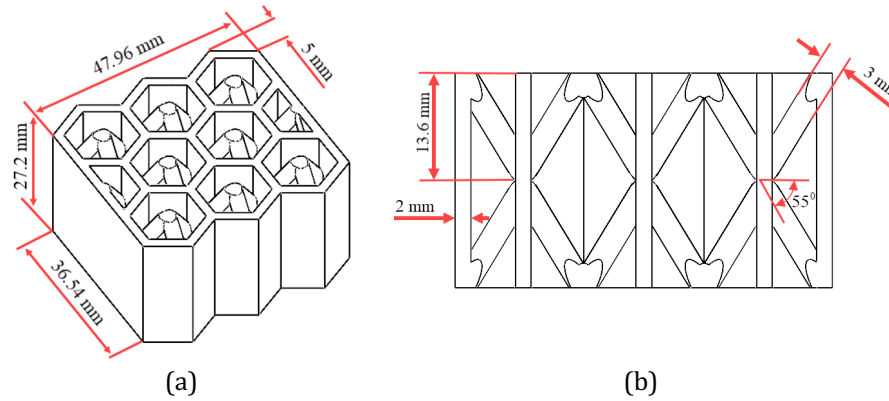


Figure 2. Dimensions of the sandwich panel core: a) isometric view, b) full section view

Hexagonal honeycomb cores, whose solid models were prepared, were sliced and converted into STL format. The production of the cores was carried out on the Creality Ender 3 branded 3D printer using the Fused Deposition Modeling (FDM) method (Figure 4). PLA (Polylactic acid) filament was used in the production of the samples, and three of each sample were produced. The properties of the PLA filament material supplied by the supplier were given in Table 1.

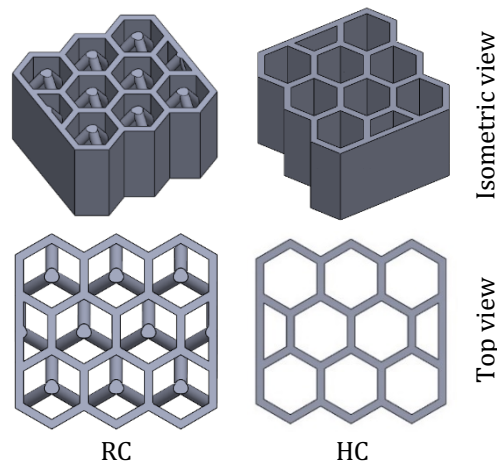


Figure 3. Images of core solid models

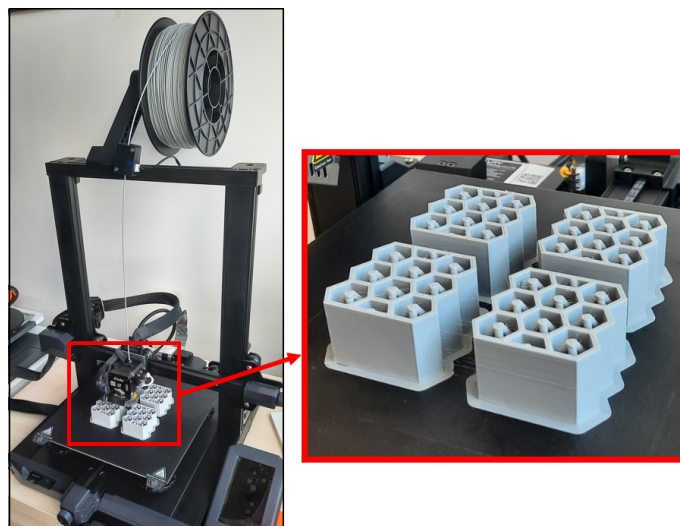


Figure 4. Production of samples with a 3D printer

Table 1. Technical properties of PLA filament

Material	Colour	Diameter	Density (kg/m ³)	Elasticity modulus (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)
PLA	Grey	1.75	1240	1500	50	7

In determining the printing temperatures for the production of the samples, the brochure information of the PLA material manufacturer was taken as reference, the nozzle temperature was determined as 220 °C and the table temperature 70 °C. Productions were carried out at room temperature. A single filament material from the same package was used for the production of all samples. The samples consist of 227 layers. The printing parameters used in the production of the experimental samples are given in Table 2.

Table 2. Printing parameters used in the production of samples

Parameter	Value
Nozzle diameter (mm)	0.40
Nozzle temperature (°C)	220
Bed temperature (°C)	70
Layer height (mm)	0.12
Print speed (mm/min)	50
Fill rate (%)	20
Filament diameter (mm)	1.75
Fill geometry	Lines
3d printer brand	Creality Ender 3 S1
Production method	FDM

The weights of the experimental test samples, three of which were produced for each core design, were weighed with a Precision brand precision balance, and the results are given in Table 3.

Table 3. Weight values of samples

Sample type	Average weight (gr)	Average weight difference (%)
HC	19.40	
RC	23.43	20.77

In this study, it is aimed to compare the mechanical properties of the weakest cell wall and core designs by producing with the lowest compression density. While low fill rate saves weight, it can cause negative effects on mechanical strength. Therefore, the effect of fill rate on mechanical strength should be examined. Figure 5 shows the gaps in the core cell walls produced with 20% fill rate.

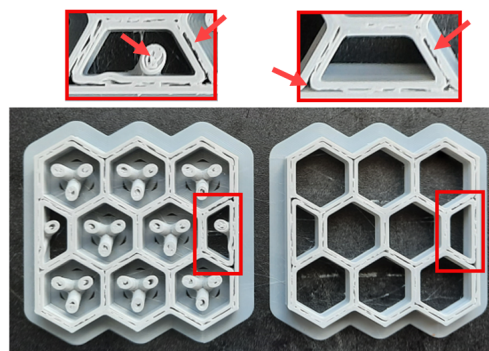


Figure 5. The gaps in the internal structure of the samples produced with 20% fill rate

In order to determine the compression strength of cores with different geometries and to observe the deformation under compression load, quasi-static compression tests were applied to the samples. The tests were carried out in the Shimadzu Autograph AGS-X 100 KN capacity compression device in Kastamonu University Central Research Laboratory at a compression speed of 1 mm/s and in accordance with ASTM C365/365M standards.

Honeycomb core geometry show high strength to vertical loads because their cell walls are difficult to

fold, but they are weaker to lateral loads. For this reason, in the experiments carried out, the samples were placed in the test device in a horizontal position (Figure 6b). Thus, it is aimed to evaluate the contribution of conical support bars to lateral deformation. Experiments were repeated three times for each type of sample to ensure experimental accuracy. The compression test was continued until fracture occurred in the samples. As a result of the experiments, force-displacement graphs of the samples were obtained. The images of the samples placed on the test setup and compression test device are given in Figure 6a.

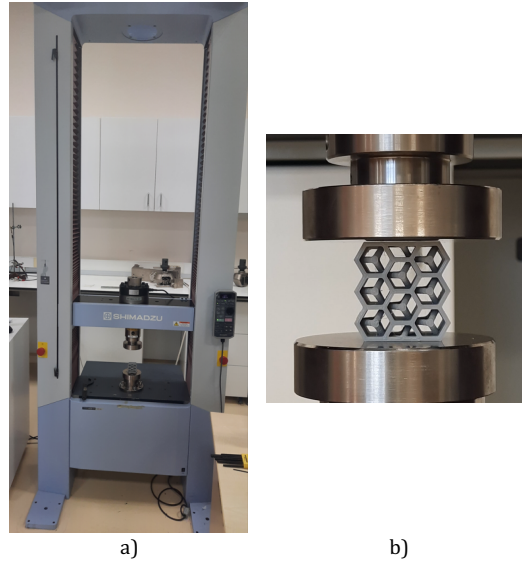


Figure 6. a) Compression test setup, b) placement of samples

3. Experimental Findings

3.1. Investigation of the effect of core design on compression strength

During the compression tests, the deformation changes of the core samples were recorded with a camera, while the force-displacement curves of the samples were measured by the load and displacement sensors connected to the compression test device. The deformation modes in the samples are given in Figure 7.

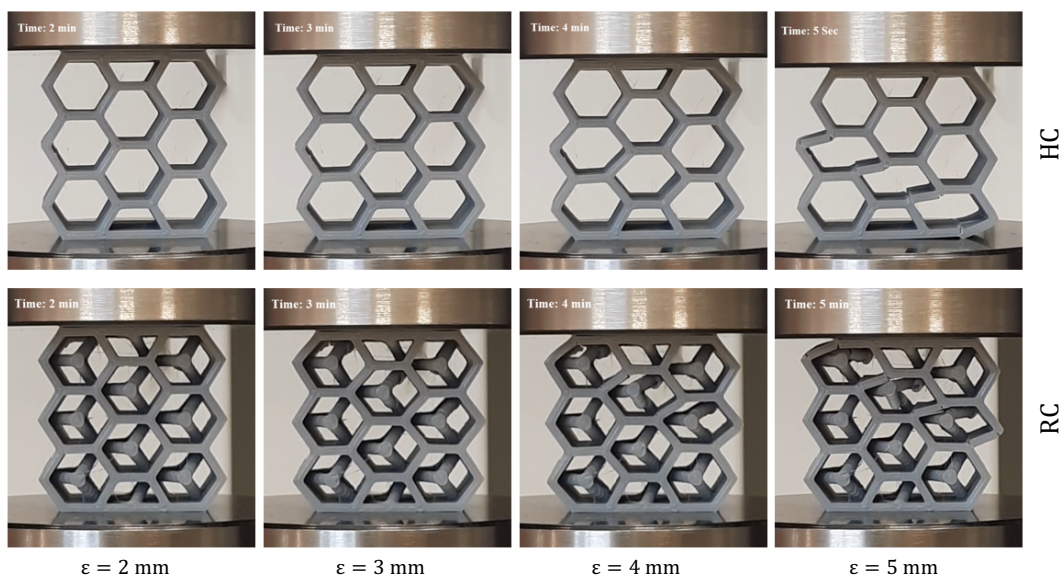


Figure 7. Deformation modes in the samples

As a result of the experimental study, force-displacement curves of hexagonal honeycomb cores with different core designs were obtained. Mechanical performance of hexagonal honeycomb cores; the

maximum crushing force (F_{maks}) and the total energy absorbed (SE) were evaluated over the performance criteria. Maximum crush strength is the maximum strength of the core against compression load.

Absorbed energy is the amount of energy that the core absorbs by undergoing plastic deformation against the impact load. Maximum crushing force and total absorbed energy values are widely used parameters in the academic literature to evaluate the mechanical performance of structures [29]. The force-displacements curves obtained as a result of the compression test of HC and RC samples are given in Figure 8.

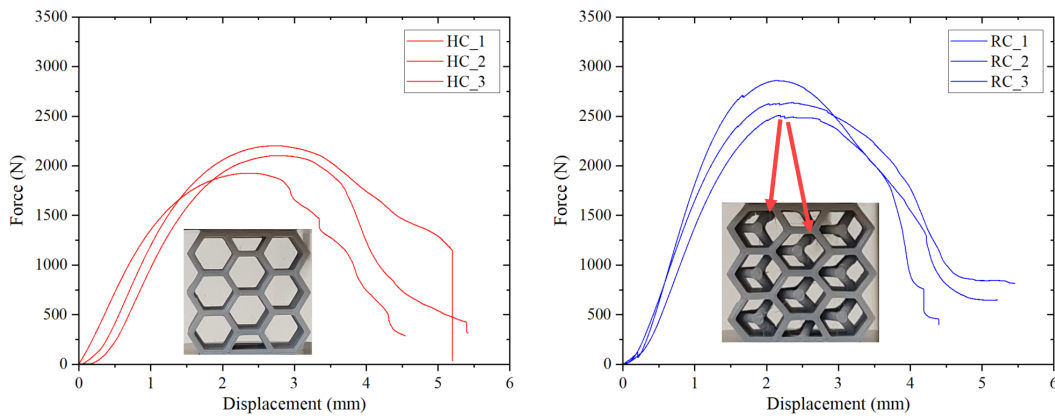


Figure 8. Force - displacements curves of core samples

When the force - displacements curves and maximum crush force values of HC and RC samples with hexagonal honeycomb core structure are examined, it is revealed that the conical support bars added to the cell walls increase the crushing strength of the cell. Average F_{maks} values of cores are given in Table 4.

Table 4. Average maximum crushing force values of the samples

Core Type	Average F_{maks} (N)	Difference ratio (%)
HC	2076.87	28.54
RC	2669.79	

While the hexagonal honeycomb HC sample had a maximum strength of 2076.87 N, the crushing resistance of the reinforced core unit cell increased up to 2669.79 N. This increase indicates that the compressive load strength has increased by approximately 28%. Conical support bars increased the axial deformation resistance by allowing the cell walls to move as a whole.

According to the force-displacement curves of the RC samples, it is seen that the force value fluctuates just before the maximum crushing strength is reached. This fluctuation was caused by the formation of high mechanical strength -induced cracks in the conical support bars during deformation (Figure 8). Studies in the academic literature have shown that printing parameters under loading conditions, as well as load range and frequency, can affect crack formation in samples [30].

The integral of the area under the force-strain curve gives the total energy absorbed through a specific crushing distance (d) by the samples. Equation 1 is used to calculate the amount of energy absorbed by the samples. Calculated absorbed energy values are given in Table 5. Compared to the conventional HC sample, the RC sample absorbs approximately 23.4% more compression force.

$$SE = \int_0^{d_{maks}} F(\delta) d\delta \quad (1)$$

where d is crushing distance and $F(\delta)$ is the instantaneous force at displacement δ .

Table 5. Absorbed energy values

Core Type	Average Absorbed Energy (J)	Difference ratio (%)
HC	6881.27	23.4
RC	8491.12	

3.2. Investigation of the effect of core design on deformation modes

Although hexagonal honeycomb cores show high resistance to vertical loads applied along the cell walls, they are more sensitive to horizontal loads. Horizontal loads force the cell walls to fold. In this study, conical support bars added to the cell walls increased the crushing strength of the cores. The deformation formations of the core were observed and the deformation modes in the core were determined. In Figure 9, deformation formations occurring in HC samples produced from PLA material were given.

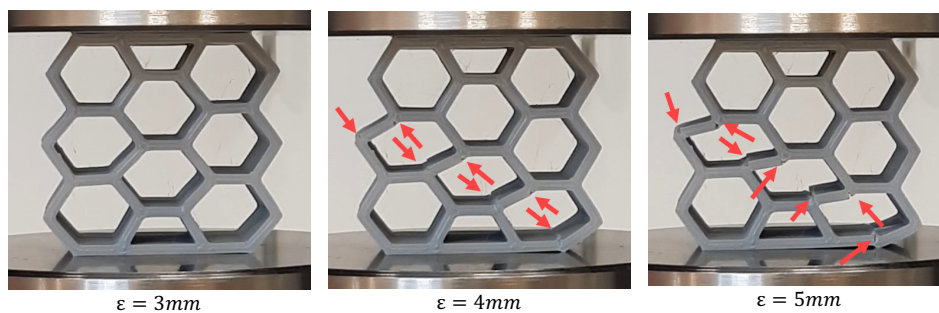


Figure 9. Deformation modes of the HC sample

When the effects of the compression load on the core are examined; It was determined that with the increase of the compression load, the core showed elastic behavior in the first stage and as a result, the unit cell structure began to deteriorate (Figure 9a). Studies in the literature confirm that the components produced with PLA material show elastic deformation behavior at low load values and subsequently have plastic deformation behavior after a peak load [31, 32]. As the crushing continued, cracks occurred in the layers forming the cell walls, and fractures occurred along a plane (Figure 9b). As the crushing increased, the cracked cell walls were broken and separated from the body. As the compression force reached the maximum point, a sudden break occurred as can be seen from the force-displacement curve of the HC sample (Figure 9c). Researchers revealed that the 3D-printed samples had a lower peak stress than that of the filaments and showed even lower ductility. It is thought that the sudden fractures in the core as a result of high stress are caused by the low ductility of the imprinted PLA filament [33, 34]. Thus, the deformation resistance of the cells decreased.

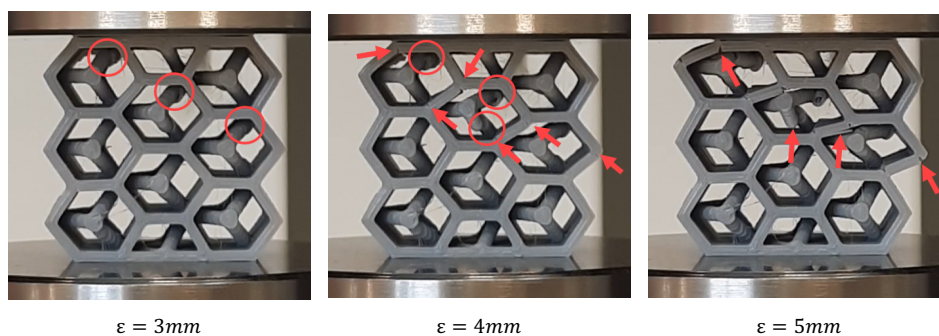


Figure 10. Deformation modes of the RC sample

When the deformation modes of the RC sample are examined, it is seen that the deformation first starts from the conical support bars. In the first stage of the deformation, the cell walls showed plastic deformation behaviour and with the continuation of the crushing, the conical support bars started to separate from the layer adhesion point. This behaviour caused fluctuations at the maximum point of the force-displacement curve. Also, the fractures in the conical support bars started to occur in the same direction (Figure 10a). As the deformation continued, cracks occurred in the weakened cell walls in this plane (Figure 10b). With the breakage of the conical support bars, the cell walls weakened and

fractures occurred (Figure 10c).

4. Discussion and Conclusion

In this study, the mechanical performance and deformation formation of HC and RC samples produced using PLA-based hexagonal honeycomb core structure with two different core designs under compression load were investigated. As a result of the evaluated mechanical performance and deformation formations:

It has been determined that the changes made in the core design have a significant effect on the weight and mechanical behavior of the core. Conical support bars added to the core walls of the traditionally used HC design increased the core weight by an average of 20.77%.

The highest maximum compression force load was measured as 2669.79 N in the PLA-based hexagonal honeycomb RC sample, and the lowest compression force load was 2076.87 N in the HC sample. The improved RC design increased the maximum crushing strength of the cores under compression load by an average of 28.54% compared to the HC samples. Deformations in the conical support bars caused fluctuations in the force-displacement curves of the cores.

The RC sample formed by adding conical support bars to the cell walls absorbs an average of 6881.27 J of compression energy, while the HC sample absorbs an average of 8491.12 J. The improved RC design increased the total absorbed energy value of the cores under compression load by 23.4% compared to the HC samples.

When the deformation behavior of the hexagonal honeycomb RC and HC samples under compression load was examined, it was observed that the core first underwent elastic deformation and the core cell walls expanded with the increase in compression load.

With the progression of the deformation, cracking firstly occurred in the core cell walls of the HC sample, while the onset of deformation was observed in the conical support bars of the RC sample. Fractures occurred along an axis in the cell wall. With the increase in the compression load, the cell walls broke and the core completely lost its resistance.

When the experimental test results and deformation formations are examined together, the production gaps in the cores produced with 20% filling ratio directed the deformation. Although the gaps in the middle of the conical support bars caused weakening and earlier fracture, it still increased the crushing resistance of the nucleus and delayed cell wall ruptures. Conical support bars also preserved the integrity of the core walls. The results show that the core design has an effect on the deformation behavior of the sandwich panels.

Conflict of Interest Statement

The authors declare that there is no conflict of interest.

References

- [1] M. M. Harussani, S. M. Sapuan, G. Nadeem, T. Rafin and W. Kirubaanand, "Recent applications of carbon-based composites in defence industry: A review," *Def. Technol.*, vol. 18, no. 8, pp. 1281–1300, Aug. 2022. doi:10.1016/j.dt.2022.03.006
- [2] M. Günay and İ. Yeşildağ, "GMAW Esaslı Eklemeli İmalat İle Üretilen Düşük Karbonlu Çeliğin Mekanik Özellikleri," *Gazi J. Eng. Sci.*, vol. 7, no. 3, pp. 175–182, Dec. 2021. doi:10.30855/gmbd.2021.03.01
- [3] F. Kartal, C. Nazlı, Z. Yerlikaya and A. Kaptan, "3B Yazıcıda Üretilen Parçaların Çoğaltılması," *Int. J. 3D Print. Technol. Digit. Ind.*, Apr. 2021. doi:10.46519/ij3dptdi.810269
- [4] T. Yao, Z. Deng, K. Zhang and S. Li, "A method to predict the ultimate tensile strength of 3D printing polylactic acid (PLA) materials with different printing orientations," *Compos. Part B Eng.*, vol. 163, pp. 393–402, Apr. 2019. doi:10.1016/j.compositesb.2019.01.025

- [5] S. R. Rajpurohit and H. K. Dave, "Flexural strength of fused filament fabricated (FFF) PLA parts on an open-source 3D printer," *Adv. Manuf.*, vol. 6, no. 4, pp. 430–441, Dec. 2018. doi:10.1007/s40436-018-0237-6
- [6] W. J. Joost, "Reducing Vehicle Weight and Improving U.S. Energy Efficiency Using Integrated Computational Materials Engineering," *JOM*, vol. 64, no. 9, pp. 1032–1038, Sep. 2012. doi:10.1007/s11837-012-0424-z
- [7] G. Lodewijks, Y. Cao, N. Zhao and H. Zhang, "Reducing CO₂ Emissions of an Airport Baggage Handling Transport System Using a Particle Swarm Optimization Algorithm," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 121894–121905, 2021. doi:10.1109/ACCESS.2021.3109286
- [8] J. Kee Paik, A. K. Thayamballi and G. Sung Kim, "The strength characteristics of aluminum honeycomb sandwich panels," *Thin-Walled Struct.*, vol. 35, no. 3, pp. 205–231, Nov. 1999. doi:10.1016/S0263-8231(99)00026-9
- [9] M. Giglio, A. Gilioli and A. Manes, "Numerical investigation of a three point bending test on sandwich panels with aluminum skins and Nomex™ honeycomb core," *Comput. Mater. Sci.*, vol. 56, pp. 69–78, Apr. 2012. doi:10.1016/j.compmatsci.2012.01.007
- [10] M. R. M. Rejab and W. J. Cantwell, "The mechanical behaviour of corrugated-core sandwich panels," *Compos. Part B Eng.*, vol. 47, pp. 267–277, 2013. doi:10.1016/j.compositesb.2012.10.031
- [11] S. Kazemahvazi, D. Tanner and D. Zenkert, "Corrugated all-composite sandwich structures. Part 2: Failure mechanisms and experimental programme," *Compos. Sci. Technol.*, vol. 69, no. 7–8, pp. 920–925, Jun. 2009. doi:10.1016/j.compscitech.2008.11.035
- [12] J. Galos, M. Sutcliffe and G. Newaz, "Design, fabrication and testing of sandwich panel decking for use in road freight trailers," *J. Sandw. Struct. Mater.*, vol. 20, no. 6, pp. 735–758, Sep. 2018. doi:10.1177/1099636216680153
- [13] A. K. Noor, W. S. Burton and C. W. Bert, "Computational Models for Sandwich Panels and Shells," *Appl. Mech. Rev.*, vol. 49, no. 3, pp. 155–199, Mar. 1996. doi:10.1115/1.3101923
- [14] E. Zurnacı, H. Gokkaya, M. Nalbant and G. Sur, "Three-Point Bending Response of Corrugated Core Metallic Sandwich Panels Having Different Core Configurations – An Experimental Study," *Eng. Technol. Appl. Sci. Res.*, vol. 9, no. 2, pp. 3981–3984, Apr. 2019. doi:10.48084/etasr.2671
- [15] M. . Ashby, "The properties of foams and lattices," *Philos. Trans. R. Soc. A Math. Phys. Eng. Sci.*, vol. 364, no. 1838, pp. 15–30, Jan. 2006. doi:10.1098/rsta.2005.1678
- [16] R. G. Hutchinson and N. A. Fleck, "The structural performance of the periodic truss," *J. Mech. Phys. Solids*, vol. 54, no. 4, pp. 756–782, Apr. 2006. doi:10.1016/j.jmps.2005.10.008
- [17] E. Zurnacı and H. Gökaya, "The effect of core configuration on the compressive performance of metallic sandwich panels," *Mater. Tehnol.*, vol. 53, no. 6, pp. 859–864, Dec. 2019. doi:10.17222/mit.2019.023
- [18] J. Lin, Z. Luo and L. Tong, "Design of Adaptive Cores of Sandwich Structures Using a Compliant Unit Cell Approach and Topology Optimization," *J. Mech. Des.*, vol. 132, no. 8, p. 081012, 2010. doi:10.1115/1.4002201
- [19] I. Asadi, M. Shirvani, H. and Sanaei, "A simplified model to simulate crash behavior of honeycomb," in *Proceedings of the International Conference of Advanced Design and Manufacture, ICADM 2006*, 8-10 Jan 2006, Harbin, China, [Online]. Available: Researchgate, <https://www.researchgate.net/publication/228934116>. [Accessed: 10 Dec. 2022]
- [20] G. Atlıhan, İ. Ovalı and A. Eren, "Eklemeli İmalat Yöntemiyle Üretilmiş Bal Petekli Yapıların Titreşim Davranışlarının Nümerik ve Deneysel Olarak İncelenmesi," *Int. J. 3D Print. Technol. Digit. Ind.*, Jun. 2021. doi:10.46519/ij3dptdi.907282
- [21] P. Griškevičius, D. Zeleniakiene, V. Leišis and M. Ostrowski, "Experimental and Numerical Study of Impact Energy Absorption of Safety Important Honeycomb Core Sandwich Structures Experimental and Numerical Study of Impact Energy Absorption of Safety Important Honeycomb Core Sandwich Structures," *Mater. Sci.*, vol. 16, no. 2, pp. 119–123, 2010.
- [22] M. O. Kaman, M. Y. Solmaz and K. Turan, "Experimental and numerical analysis of critical buckling load of honeycomb sandwich panels," *J. Compos. Mater.*, vol. 44, no. 24, pp. 2819–2831, 2010. doi:10.1177/0021998310371541
- [23] V. Crupi, G. Epasto and E. Guglielmino, "Collapse modes in aluminium honeycomb sandwich panels under bending and impact loading," *Int. J. Impact Eng.*, vol. 43, pp. 6–15, 2012. doi:10.1016/j.ijimpeng.2011.12.002
- [24] L. Aktay, A. F. Johnson and M. Holzapfel, "Prediction of impact damage on sandwich composite panels," *Comput. Mater. Sci.*, vol. 32, no. 3–4, pp. 252–260, Mar. 2005. doi:10.1016/j.compmatsci.2004.09.044
- [25] E. Wu and W.-S. Jiang, "Axial crush of metallic honeycombs," *Int. J. Impact Eng.*, vol. 19, no. 5–6, pp. 439–456, May 1997. doi:10.1016/S0734-743X(97)00004-3
- [26] M. Yamashita and M. Gotoh, "Impact behavior of honeycomb structures with various cell specifications—numerical simulation and experiment," *Int. J. Impact Eng.*, vol. 32, no. 1–4, pp. 618–630, Dec. 2005. doi:10.1016/j.ijimpeng.2004.09.001
- [27] G. G. Galletti, C. Vinquist and O. S. Es-Said, "Theoretical design and analysis of a honeycomb panel sandwich structure loaded in pure bending," *Eng. Fail. Anal.*, vol. 15, no. 5, pp. 555–562, Jul. 2008. doi:10.1016/j.engfailanal.2007.04.004
- [28] F. Tarlochan, S. Ramesh and S. Harpreet, "Advanced composite sandwich structure design for energy absorption

applications: Blast protection and crashworthiness," *Compos. Part B Eng.*, vol. 43, no. 5, pp. 2198–2208, Jul. 2012. doi:10.1016/j.compositesb.2012.02.025

[29] S. Hou, C. Shu, S. Zhao, T. Liu, X. Han and Q. Li, "Experimental and numerical studies on multi-layered corrugated sandwich panels under crushing loading," *Compos. Struct.*, vol. 126, pp. 371–385, 2015. doi:10.1016/j.compstruct.2015.02.039

[30] F. He, V. K. Thakur and M. Khan, "Evolution and new horizons in modeling crack mechanics of 3D printing polymeric structures," *Mater. Today Chem.*, vol. 20, pp. 100393, Jun. 2021. doi:10.1016/j.mtchem.2020.100393

[31] A. Soltani, R. Noroozi, M. Bodaghi, A. Zolfagharian and R. Hedayati, "3D Printing On-Water Sports Boards with Bio-Inspired Core Designs," *Polymers (Basel)*, vol. 12, no. 1, pp. 250, Jan. 2020. doi:10.3390/polym12010250

[32] Z. Wang, C. Luan, G. Liao, X. Yao and J. Fu, "Mechanical and self-monitoring behaviors of 3D printing smart continuous carbon fiber-thermoplastic lattice truss sandwich structure," *Compos. Part B Eng.*, vol. 176, pp. 107215, Nov. 2019. doi:10.1016/j.compositesb.2019.107215

[33] E. A. Franco-Urquiza, Y. R. Escamilla and P. I. Alcántara Llanas, "Characterization of 3D Printing on Jute Fabrics," *Polymers (Basel)*, vol. 13, no. 19, pp. 3202, Sep. 2021. doi:10.3390/polym13193202

[34] Y. Song, Y. Li, W. Song, K. Yee, K.-Y. Lee and V. L. Tagarielli, "Measurements of the mechanical response of unidirectional 3D-printed PLA," *Mater. Des.*, vol. 123, pp. 154–164, Jun. 2017. doi:10.1016/j.matdes.2017.03.051

This is an open access article under the CC-BY license



GAZİ

JOURNAL OF ENGINEERING SCIENCES

Decision Support System for Blood Vessel and Optic Disc Segmentation

Cihan Akyel^a, Nursal Arıcı^b

Submitted: 12.09.2022 Revised: 03.12.2022 Accepted: 03.12.2022 doi:10.30855/gmbd.0705048

ABSTRACT

Keywords: LinkNet, Decision Support Systems, Deep Learning, ResNetC, Diabetes, Diabetic Retinopathy

^{a*} Gazi University,
Information Systems, Management
Information Systems
06640 - Ankara, Türkiye
Orcid: 0000-0003-1792-8254
e mail: cihan.akyel1@gazi.edu.tr

^b Gazi University,
Applied Sciences Faculty,
Management Information Systems
06560 - Ankara, Türkiye
Orcid: 0000-0002-4505-1341

*Corresponding author:
cihan.akyel1@gazi.edu.tr

Diabetes mellitus has been on the rise recently. Diabetes can adversely affect different organs in the human body, along with blood flow. Diabetic retinopia is a type of diabetes that causes vision loss as a result of sugar destroying the vessels in the retina of the eye. Diabetic retinopia is one of the most important causes of blindness. Optic disc segmentation can help specialists in identifying these diseases. However, there are some obstacles, such as different brightness states on the images. Vessel noise can reduce segmentation success. This is because blood vessels can cut the edges of the optic disc. The aim in this study is to remove blood vessels from the images and then successfully segment the optic disc. Within the scope of the study, a new approach named LinkNetRCB7 based on LinkNet was developed. Successful results were obtained in the trainings made with LinkNetRCB7 data sets. The blood vessels and optic disc segmentation accuracy was 98.50% in the STARE dataset and 98.85% in the DRISHTI GS. A decision support system including these stages has been proposed within the scope of the study. There is no decision support system that includes deep learning and image processing algorithms for diabetic retinopia in the current literature.

Kan Damarı ve Optik Disk Bölütlemesi için Karar Destek Sistemi

ÖZ

Son zamanlarda şeker hastalığı hızla artmaktadır. Şeker hastalığı insan vücudunda farklı organları kan akışıyla birlikte olumsuz etkileyebilmektedir. Diyabetik retinopi, şekerin gözün retina tabakasındaki damaları tahrip etmesi sonucu görme kaybına neden olan bir diyabet türüdür. Diyabetik retinopi, körlüğün en önemli sebeplerindendir. Optik disk bölütlemesi bu hastalıkların belirlenmesinde uzmanlara yardımcı olabilmektedir. Ancak burada görüntüler üzerindeki farklı parlaklık durumları gibi bazı engeller ortaya çıkmaktadır. Damar gürültüsü bölütleme başarısını düşürebilmektedir. Bunun nedeni, kan damarlarının optik diskin kenarlarını kesebilmesidir. Bu çalışmada amaç, kan damarlarını görüntülerden çıkarmak ve ardından optik diski başarılı bir şekilde bölütlemektir. Çalışma kapsamında LinkNet'e dayalı LinkNetRCB7 adlı yeni bir yaklaşım geliştirildi. LinkNetRCB7 veri setleri ile yapılan eğitimlerde başarılı sonuçlar elde etmiştir. Kan damarları ve optik disk bölütleme doğruluğu, STARE veri setinde %98.50 ve DRISHTI GS'de %98.85 olarak hesaplandı. Bu aşamaları içeren bir karar destek sistemi çalışma kapsamında önerilmiştir. Mevcut literatürde diyabetik retinopi için derin öğrenme ve görüntü işleme algoritmalarını içeren bir karar destek sistemi görülmemektedir.

Anahtar Kelimeler: LinkNet, Karar Destek Sistemleri, Derin Öğrenme, ResNetC, Diyabet, Diyabetik Retinopati

1. Introduction

Diabetes is increasing rapidly throughout the world. There are about 650 million people affected by diabetes. Diabetic retinopathy is one of the types of diabetes. Diabetic retinopathy is an eye disease that can lead to blindness. Diabetes damages the blood vessels in the eye. This can lead to blood leakage. This leads to vision loss, blurred vision, or swelling [1]. By 2040, 600 million people will have diabetes and 200 million will have diabetic retinopathy [2]. DR is a leading cause of blindness in the United States. In 2020, there will be about 12000-24000 new cases annually. Diabetes is responsible for 40% of the total healthcare expenditure in the US [3]. Diabetic retinopathy can be prevented by early diagnosis. Experts can examine fundus images of the eyes to diagnose DR. However, there are many challenges, such as professionals' skills, contrast differences, image noise, and financial limitations [4]. The discovery of DR often occurs after severe damage has already occurred. In fact, visual examination is inferior in detecting vascular changes [5]. For these reasons, we need practical methods to detect diabetic retinopathy [6].

Experts can diagnose diabetic retinopathy using images segmented into the optic disc (OD). Computer-assisted methods such as image processing and deep learning can be used to perform ODS with high accuracy. However, blood interferes with the correct segmentation of OD. This is because OD may be subdivided by blood vessels. Thus, the vessels cover the optic nerve area [7]. Therefore, removal of this noise in fundus images is critical for ODS. Therefore, ODS and BVS are usually used in studies. The main challenge for the healthcare industry is to provide high-quality services at an affordable cost. Decision support systems (DSS) help the expert to make the right decision. DSS shorten the diagnosis time and increase the accuracy [8].

LinkNet is effective segmentation model. And it has some more successful types such as LinkNetB7. There is no study that includes a decision support system with LinkNet on diabetic retinopathy in the literature. This paper presents in summary:

1. We presented a new model called LinkNetRCB7.
2. We used a way including deep learning and image processing algorithms.
3. A decision support system was developed in this study. Figure 1 illustrates proposed approach.

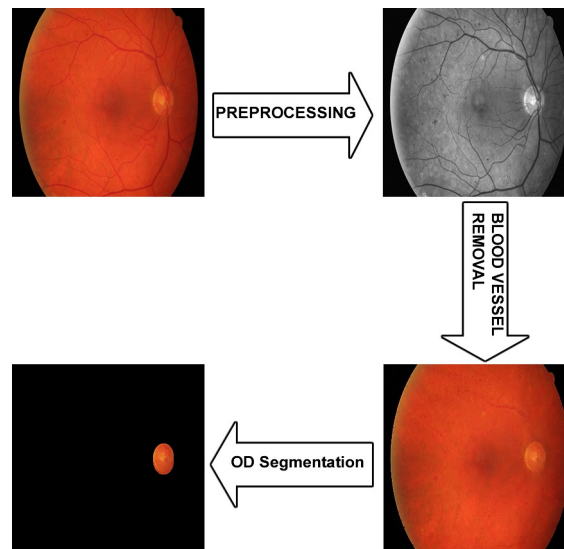


Figure 1. Overview of proposed approach

1.1. Related Works

In the literature, some studies used only image processing for segmentation. Maison et al. used a Gaussian filter based method for BVS. They used only image processing operations such as Clahe, morphological operations, and histogram equalization. They achieved 95.72% accuracy for the dataset DRIVE [9]. Image processing can be used for both mask correction and image segmentation. Shao et al. used kvsd-based kmeans as their method. Then they used pre- and post-processing for mask

correction. In this way, small disturbances can be removed from the masks. In this study, an accuracy of 95.83% was calculated for BVS [10]. Millan and Marruga present a review of optic disk segmentation. They used the active contour technique (image processing). They achieved an accuracy of 85.67% [7]. Some studies do not use image processing for segmentation of blood vessels. Wang presents BTS-DSN that is based FCN. They achieved 0.8249% F1 in a rigid dataset. They used only the green channel to highlight non-specific vessels [11].

Image processing and deep learning are usually used together for better segmentation. Jiang et al. presented an MFI network based on the UNet. This study shows that the green channel has the highest accuracy. They used gamma correction and Clahe for preprocessing. Using the dataset STARE, an accuracy of 97.60% was achieved in BVS [12]. Yang et al. proposed LC-KSVD for BVS. They used preprocessing such as Clahe and bottom hat transformation. With Clahe, the blood vessels become more visible. Thus, algorithms can detect more easily. HRF, drive, and stare datasets were used. With the HRF dataset, they achieved 95.17% accuracy [13]. Another example of the combined use of image processing and Deep Learning is the RV-Net model proposed by Boudegga et al. In this study, an accuracy of 98.19% was achieved using the Drive dataset [14].

Correct removal of vascular noise from the image with predicted vascular masks is important to reduce losses. Inpaint functions are used for this purpose. Zhou et al. emphasize that vessels in retinal images affect segmentation accuracy. In this study, an inpainting algorithm with estimated blood vessel masks was used to obtain clean images. Then, optical segmentation was performed. Image processing and deep learning were used together. The cube coefficients (DI) were 95.5% for the DRISHTI-GS dataset for ODS [15]. In the study by Almazroa et al. an approach for segmentation of blood vessels was proposed. They used image processing algorithms such as top-hat filter and roi-based thresholding. Inpaint was used to fill voids corresponding to the masks. Segmentation of the optic disk was then performed. Using the Magrabi dataset, a cube accuracy of 90.1% was achieved [16].

In Deep Learning algorithms, overfitting is a problem that reduces the accuracy of training. Overfitting can be avoided by dividing the images into patches. In the study by Ma et al. this method was used. They proposed a WA mesh with residual blocks for BVS. They achieved an accuracy of 95.66% and an F1 score of 82.22% for the drive dataset [17]. Another study using patches was proposed by Browatzki et al. called Vlight. This model is based on Unet and Resnet. They achieved 96.71% on Chase [18].

The literature states that UNet is often preferred for BVS and ODS due to its high accuracy. Sanchez Brea et al. used UNET. They used the drive, stare, chase, RC-SLO, and IOSTAR datasets. They achieved 96% accuracy for IOSTAR and 97% for RC-SLO. Different numbers were used: 1, 10, 20 [19]. Lin et al. presented a study-based UNET. They achieved an accuracy of 96.08% for the hut. They mention a OD and fovea segmentation [20].

There are many studies based on UNet that improve the accuracy of education. Granley et al. have presented the HBA-UNet model. This model includes four resnet layers. A cube coefficient of 94.7% was obtained in the ADAM dataset and 94.7% in the REFUGE dataset. They calculated the effect of ResNet by 2% using UNet [6]. Laibacher et al. proposed a study. They developed M2U-Net: naming-based Unet. They used it to drive and chase datasets. In this study, they used Deep Learning to segment blood vessels. They achieved 80.91% dice accuracy on DRIVE and 80.06% on CHASE [21]. Lei et al. present Light Unet. In this work, a cube coefficient of 99.740 was obtained on the hut. ResNet-101 was used as the baseline network. In this study, the pooling layers were reduced to prevent the loss of important information [22]. Liu et al. proposed DDSC. DDSC is a model based on UNet. Cross entropy was used as the loss function. They achieved 97.80% on the DRISHTI-GS and 96.01% on the Refuge dataset [23].

The use of encoders improves the accuracy of image segmentation. This method is called transfer learning. Efficient types are effective models as encoders. Kamble et al. used Unet++ with efficientNetB4. In this study, the datasets REFUGE, DRISTHI-GS. and IDRiD were used. No dataset contains fovea and optic disk masks together. For this reason, the optic disk and fovea masks were merged. They achieved 95.73% accuracy in segmenting the optic disk with the Refuge dataset [24]. Lin et al. chose Resnet as the encoder. The main model was UNet for optic disk segmentation. They used image normalization and Clahe histogram equalization in the preprocessing step. These algorithms increase the contrast. This makes it easier to see the blood vessels in the image. They achieved 89.1% accuracy for the optic disk [25]. We can improve the contrast difference and segmentation accuracy by

data normalization, gamma correction, and median filter. Jia et al. presented a model based on a dense U-mesh. They achieved 96.98% accuracy on a data set of DRIVE. They used images in the green channel. Then they used data normalization, gamma correction and median filter [26].

DSS can help clinicians by trying to guess the best probability among options. Recently, deep learning algorithms have been used for cancer detection in the model component of DSS [27]. Sivanesh et al. proposed a study titled DSS with data mining. They used the algorithm CART to classify various diseases such as heart and diabetes with datasets containing numerical values such as age, pain type, and serum cholesterol in mg/ [8]. In another study observers and observers in mammography reviews many studies, inter-variability is a critical problem and reduces this variability. They used Bayes for classification in DSS [28].

2. Materials and Methods

Study has two stages, blood vessel removal, and optic disc segmentation. In the blood vessel segmentation stage, we trained model with datasets. With the model trained at this stage, the data set used in the segmentation stage is cleaned of noise.

2.1. Datasets

The study consists of two phases: Segmentation of blood vessels and optic disc. We used CHASE (28 samples), DRIVE (20 samples), HRF (45 samples), and STARE (20 samples) datasets in the blood vessel removal phase. We merged these datasets into one dataset called Blood Vessel Dataset (BVD). The BVD contains 113 images and masks. For optic disc segmentation, we used ARIA (120 samples), DRISTHIGS1 (101 samples), MESSIDOR (1200 samples), STARE (80 samples) and IDRiD (20 samples). We merged these datasets into a new dataset called Optic Disc Segmentation Dataset. The Optic Disc Segmentation Dataset (ODSD) contains 1420 images and masks. Table 1 demonstrates dataset distribution.

Table 1. Description of Datasets

Dataset	Training (70%)	Validation (20%)	Test (10%)
BVD	80	22	11
ODSD	1000	280	140

2.2. Image preprocess

We used data augmentation to prevent overfitting. This is another way to increase accuracy. Horizontal, vertical flips and shifts were applied. According to the literature, the studies generally use a maximum input size of 512x512, but the images in the datasets are larger. So there is pixel loss. For this reason, datasets were divided into 16 slices. And we used an input size of 256x256. So we have achieved an input size of 1024x1024.

2.2.1. Used filters and parameters

- Loss function: MSE (Mean Squared Error) + Dice Loss were used together. MSE measures the average of the squares of the errors [29]. Dice Loss decreases excessive segmentation errors, and the MSE reduces general image elaborations [30].

$$\text{LossFunction} = \text{MSEloss} + \text{DICEloss} \quad (1)$$

- Optimizer: We used The ADAMW optimizer ADAMW has better and faster results than ADAM [31]. We used weightDecay=0.05. With WeightDecay optimization algorithm decays the weight at each step of training.

2.2.2. Color channels

We used the median filter. It makes the images smoother. Then we divided all the images into RGB channels. As shown in Figure 2, the blood vessels are most visible in the green channel.

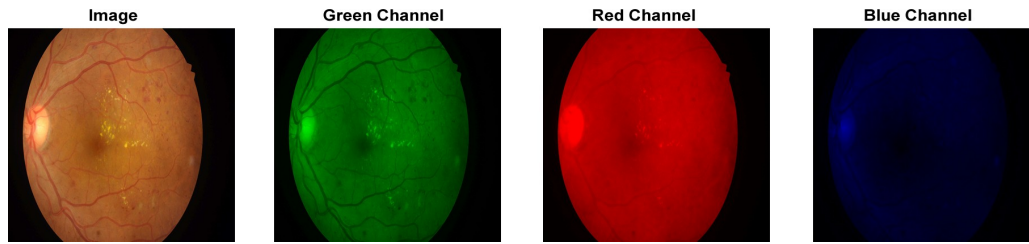


Figure 2. Images with Different Color Channels

2.2.3. Contrast enhancement

(4)

We convert images with the green channel to grayscale. The contrast is sharper in the green channel, after which normalization and Clahe (adaptive histogram equalization) were performed. Clahe was used in preprocessing to improve the contrast. Then Gaussian blur was used. It facilitates the detection of edges. With gamma correction, the image quality was increased (set to 1.2). Figure 3 shows the process.

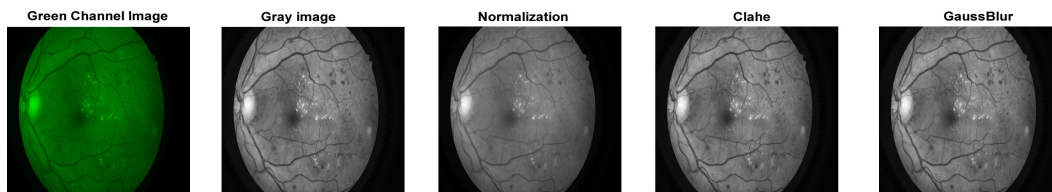


Figure 3. Contrast Enhancement Process

2.3. LinkNet

LinkNet uses batch normalization between convolutional layers followed by ReLU nonlinearity. This model uses an encoder-decoder structure. /2 means a stride of 2. LinkNet has eight blocks, four encoders, and four decoders [32]. The architecture of LinkNet is shown in Figure 7. The original LinkNet uses ResNet18 as the encoder. Compared to SegNet, ENet, Dilation10, VGG16, and ResNet101, LinkNet has the highest IoU. LinkNet is used for image segmentation [33]. LinkNet has high accuracy and a short epoch time. LinkNet has 11.5M parameters. There are studies according to which LinkNet has higher accuracy than UNet. According to Natarajan et al., LinkNet results better than UNet in segmentation [34].

2.4. EfficientnetB7 and ResNetC

The mobile inverted bottleneck is the main part of EfficientNet models [35]. Types of EfficientNet types have different numbers of this. EfficientNetB7 is the most successful model in EfficientNet types [36]. EfficientNetB7 can be seen in Figure 4. EfficientNet is generally used as an encoder in different types of segmentation. Chetoui et al. used EfficientNet in DR. They achieved successful results [37]. ResNetC includes 4 ResNet blocks. ResNetC network can be seen in Figure 5. ResNetC has almost 2 % higher dice accuracy than the basic ResNet architecture in the PH2 dataset [38].



Figure 4. EfficientNetB7 Architecture

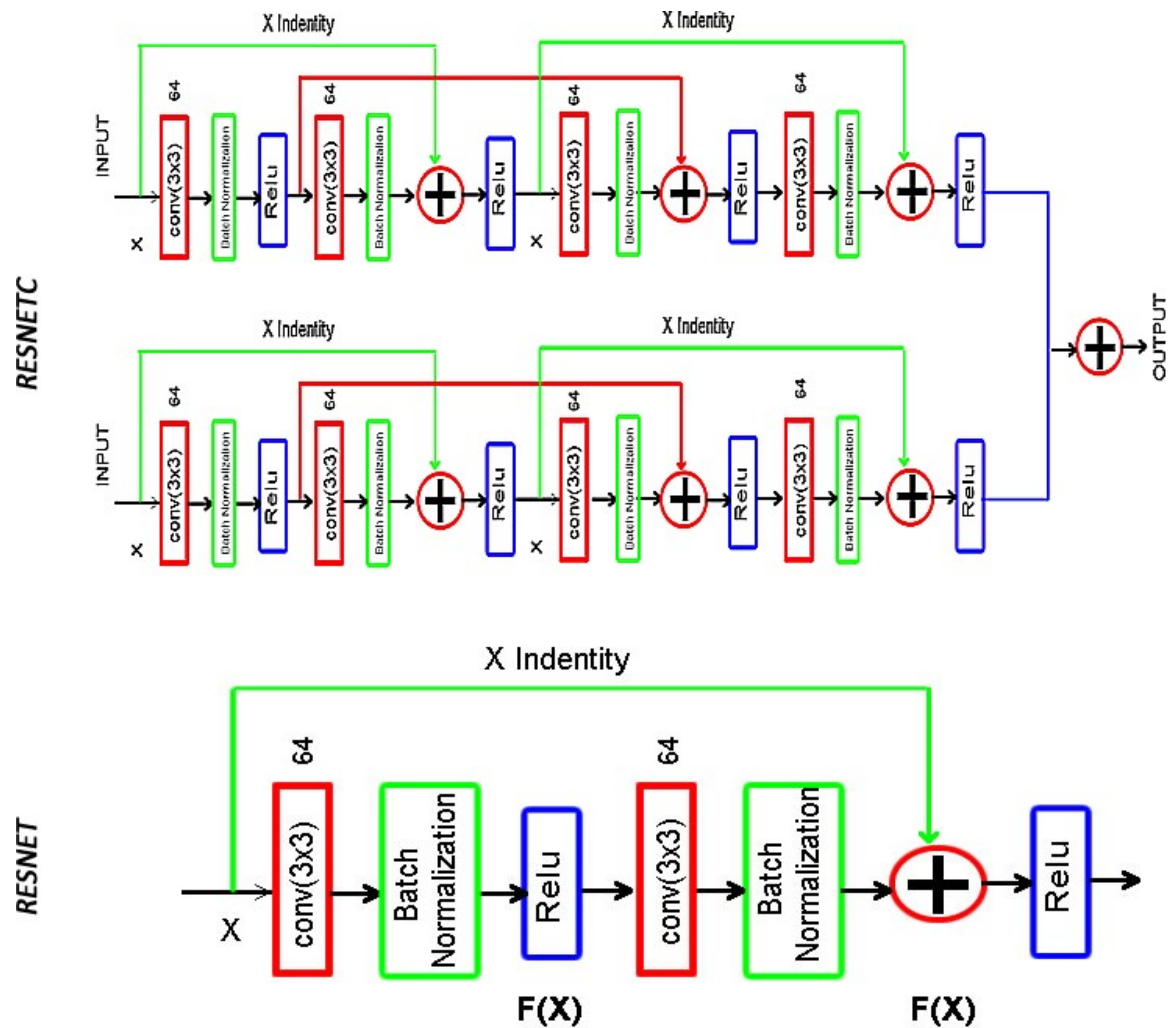


Figure 5. ResNet and ResNetC Architecture

2.5. Proposed model: LinkNet-RCB7

This model is based on LinkNetB7 [39]. We choose ADAMW. If there are potentially two classes, sigmoid is a suitable output function [40]. Table 2 shows hyperparameters.

Table 2. Hyperparameters applied in models

Parameter	Blood Vessel Removal	Optic Disc Segmentation
Batch Size	16	16
Input Size	256	256
weightDecay	0.025	0.025
Learning Rate	0.001	0.001
Number of Epochs	500	500
Optimizer	ADAMW	ADAMW
Loss Function	MSE + Dice Loss	MSE + Dice Loss

EfficientNetB7 was chosen as the encoder. This is the best type among others (B0-B7) [41]. In this paper, a new model was presented named LinkNetRCB7. ResNetC blocks were used in the last layer and middle block. Thanks to this, more features can be obtained. Middle block contains 3 ResNetC blocks. With this block, accuracy increased by about 1%. In figure 6, proposed model can be seen. We used seven blocks that belong to EfficientnetB7.

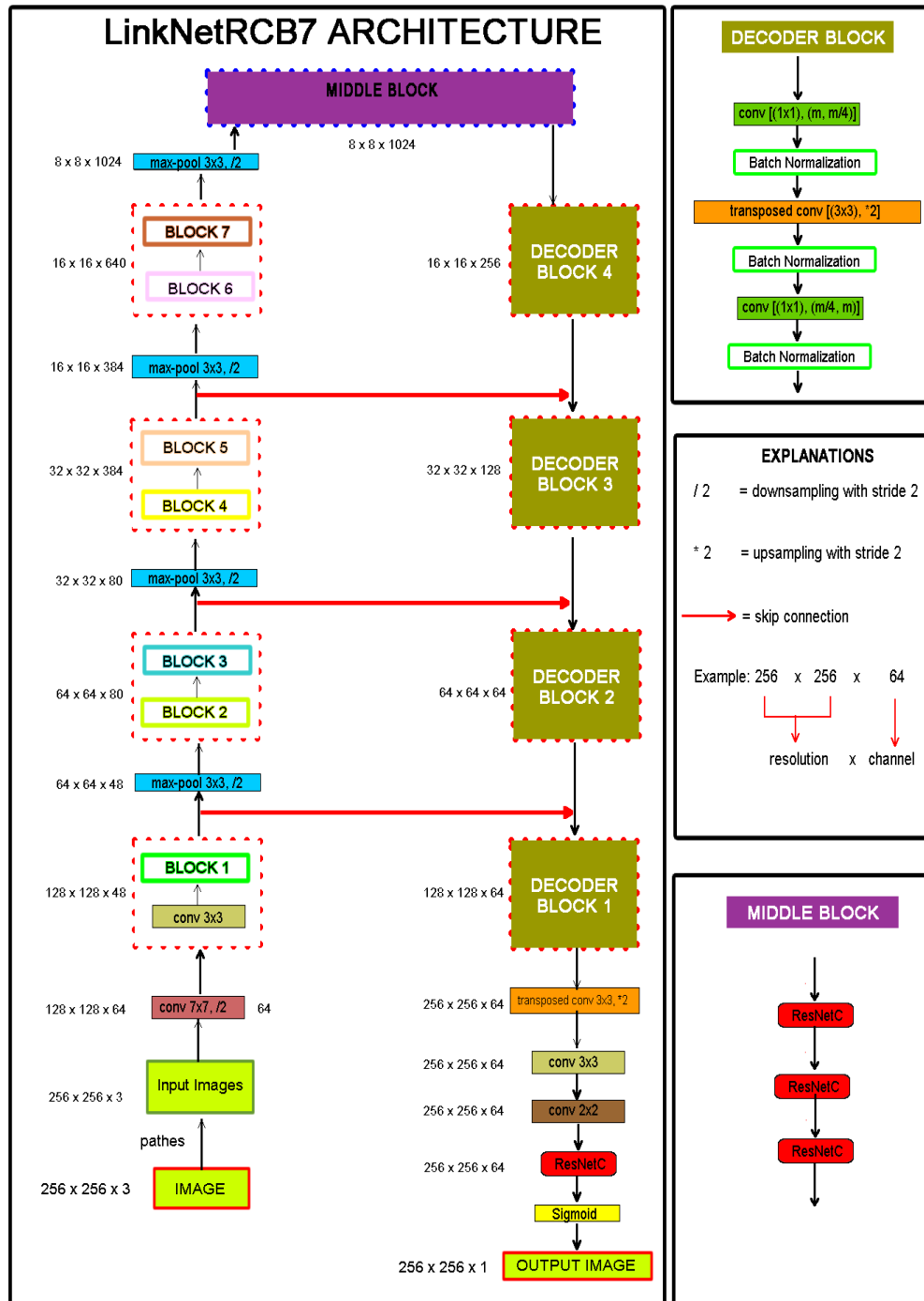


Figure 6. Proposed Model Architecture

2.6. Blood vessels removal

LinkNetRCB7 model was run with the blood vessel datasets. In the second stage, we used image processing. This allowed us to eliminate blood vessels by almost 99%. Figure 7 shows the process. Steps for the removal of blood vessels:

- The model was run for 500 epochs.
- We used morphological operations (opening, closing).
- Then we used the connectedComponentsWithStats function to remove small and unconnected objects.
- The test dataset was cleaned from noise using the model.

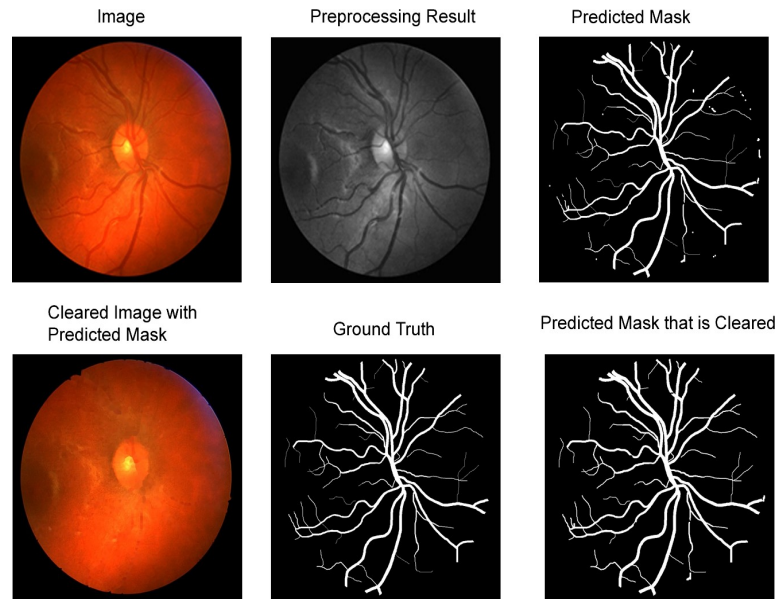


Figure 7. Blood Vessel Segmentation Stage Results

2.7. Optic disc segmentation

The dataset was cleared of noise in this step using a model trained in the blood vessel removal phase.

- The model was run for 500 epochs with the cleaned dataset.
- We used morphological operations (OPENING, CLOSING) to remove residual noise on the masks.
- Post-processing: the `connectedComponentsWithStats` function was used to remove small and unconnected objects.
- The test dataset was segmented with the trained model.

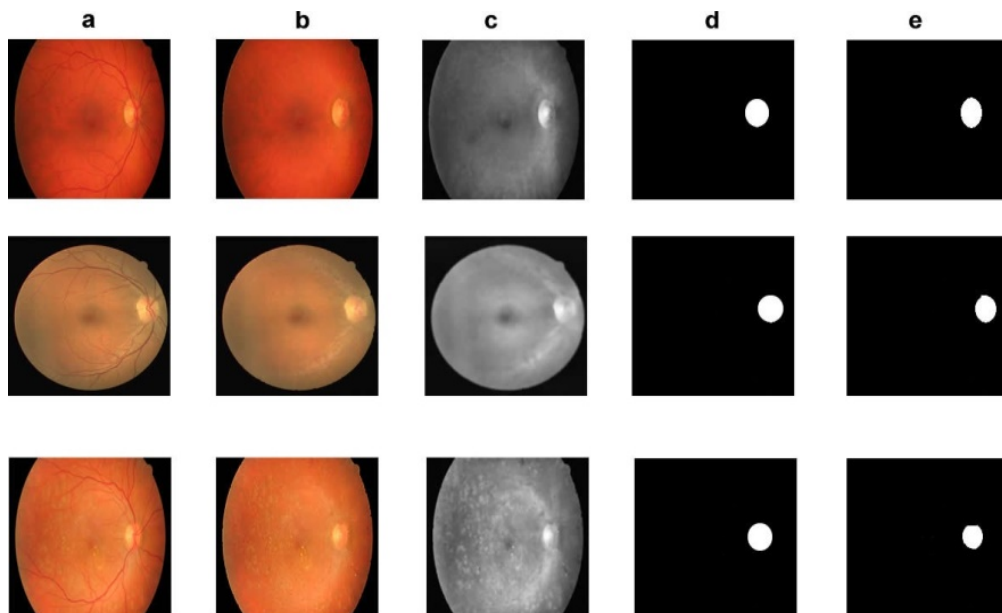


Figure 8. Optic Disc Segmentation Stage Results

3. Decision Support System

DSS helps decision-makers organize information and model outcomes. It is a computerized system that supports. A DSS consists of 3 components: GUI, data management, and model [42]. Disease to physician's decision support these systems based on classification algorithms that help diagnose systems. Clinical decision-making, such as diagnosis support systems based on patient data, are interactive software systems that help physicians [43]. In a study, DSS was designed to assist decision-

makers [44]. In this research, the goal is to assist experts in making decisions. We have developed a DSS for blood vessel removal and optic disk segmentation in fundus images. This DSS can help experts in decision-making. It can also reduce diagnostic time and cost. The goal is to only help in diagnosis and not to make decisions instead of experts. In proposed DSS, seven different datasets were used. These datasets form the database part. They contain different sizes and numbers of images. LinkNetRCB7 is a model that was developed in this work.

We used Tkinter to develop a user interface for proposed model. It has a simple design to make it easy to use. There are three buttons. The "Load" button allows users to select images in .jpeg, jpg, gif, and png formats. Then pressing the "Remove Noise" button will remove the noise in the fundus images. Then the user can select a cleaned image or an image with noise. Finally, pressing the Segmentation button segments the selected image. We give users the choice of selecting noisy or clean images. If the experts think the removal phase is bad, they can choose another option. In summary, a user can do the following

1. Select the noisy or clean image with the LOAD button.
2. Remove blood vessels from the images.
3. Segmentation of the optic nerve head.
4. User can find three images as the report in the program folder. These are the original image, the cleaned image, and the segmented image.

In Figure 9, the general structure of proposed DSS can be seen. Figure 10 shows that the removal of noise and the segmentation process.

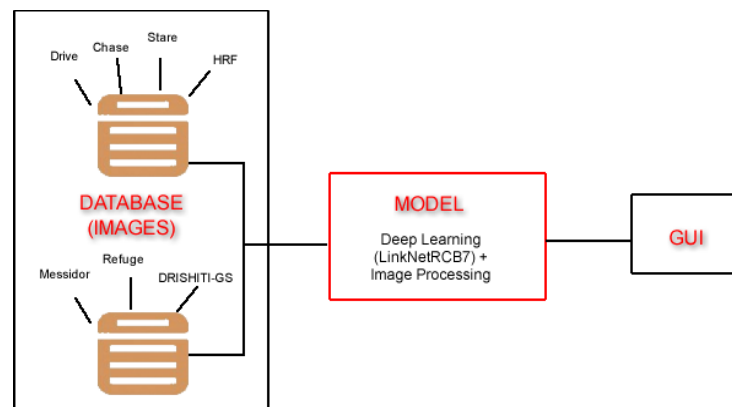


Figure 9. Structure of Proposed DSS

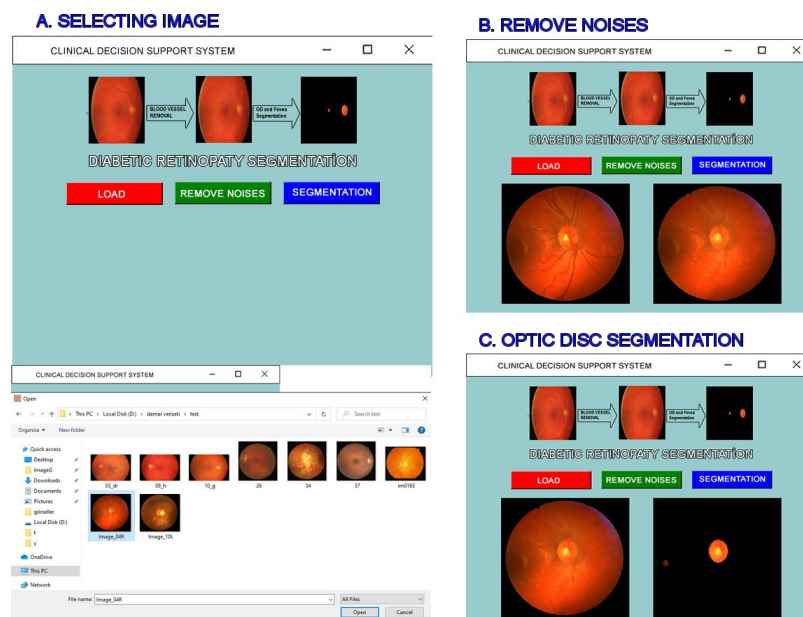


Figure 10. Gui of Proposed DSS

4. Results

4.1. Results of blood vessel segmentation

Different models were used in training stage. Table 3 demonstrates blood vessel segmentation results. Table 4 compares studies (DI= Dice coefficient, ACC: Accuracy, S.E.: Sensitivity, S.P.: Specificity). These studies uses different datasets. Because of this, the proposed model has run with the different dataset to correct comparisons.

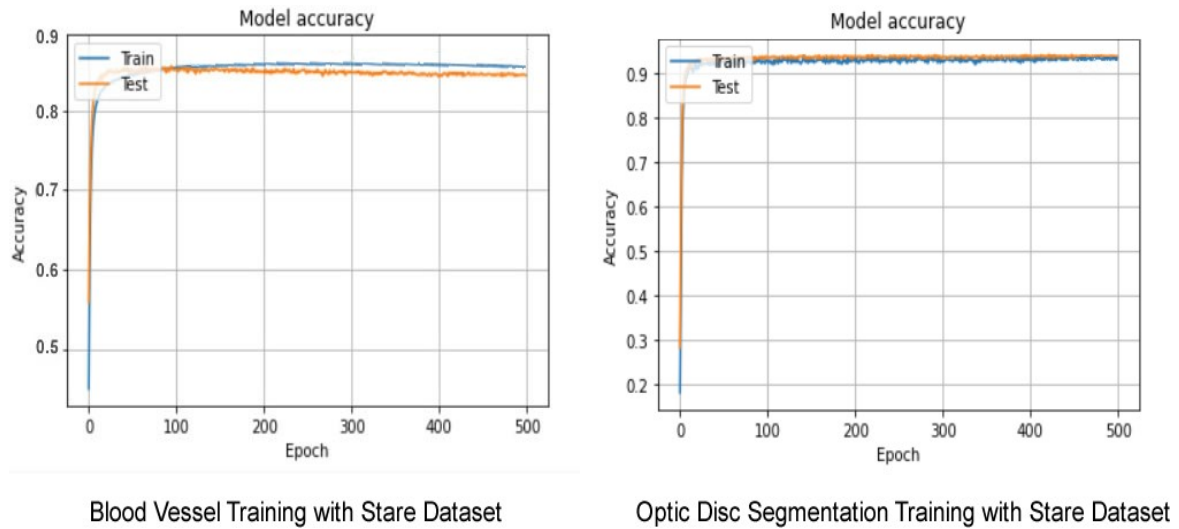


Figure 11. Graphics of Training.

Table 3. Blood Vessel Segmentation

Model	ACC	mIoU	DI	SE	S.P.	F1	Dataset
UNet	93.80	80.50	79.70	80.55	96.30	81.00	Stare
UNet++	96.20	82.30	80.70	82.15	97.20	82.70	Stare
C-Net	96.70	83.10	82.80	83.20	98.10	83.70	Stare
LinkNetB7	97.20	84.60	83.10	86.30	98.30	84.10	Stare
Proposed Model	97.95	84.20	85.40	87.20	98.30	86.25	Drive
Proposed Model	97.60	83.65	84.50	86.30	97.40	86.20	Chase
Proposed Model	98.50	85.85	85.75	88.10	99.40	86.50	Stare
Proposed Model	97.50	83.30	84.10	86.80	97.80	84.30	HRF
Proposed Model	96.30	82.20	85.00	85.30	96.70	83.50	BVD

Table 4. Comparison of Models in Blood Vessel Segmentation

Reference	DRIVE			CHASE			STARE			HRF		
	Acc	F1	DI	Acc	F1	DI	Acc	F1	DI	Acc	F1	DI
[12]	97.05	83.18	-	97.62	81.50	-	97.66	84.83	-	-	-	-
[17]	95.66	82.22	-	-	-	-	96.45	82.23	-	-	-	-
[21]	96.30	-	80.91	97.03	-	80.06	-	-	-	-	-	-
[13]	94.21	76.73	-	-	-	-	94.77	72.60	-	95.17	74.49	-
[9]	95.72	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
[14]	98.19	-	-	-	-	-	98.16	-	-	-	-	-
[19]	92.00	-	71.00	95.00	-	74.00	95.00	-	69.00	93.00	-	60.00
[18]	95.65	82.99	-	96.71	81.94	-	-	-	-	-	-	-
[10]	95.83	75.45	-	-	-	-	95.31	69.04	-	95.49	70.93	-
[26]	96.98	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
[11]	95.61	82.49	-	96.27	79.83	-	96.74	84.21	-	-	-	-
Proposed	97.95	86.25	85.40	97.60	86.20	84.50	98.50	86.50	85.75	97.50	84.30	84.10

For blood vessel segmentation, we used different datasets in cross-training. Table 5 demonstrates obtained results. And figure 12 indicates predicted masks with other models.

Table 5. Cross-training test results in blood vessel segmentation

Test Dataset	DRIVE		CHASE		STARE		HRF	
	Acc	DI	Acc	DI	Acc	DI	Acc	DI
DRIVE	-	-	94.15	81.70	96.90	84.15	96.30	83.75
CHASE	96.10	83.40	-	-	96.00	84.00	95.75	82.80
STARE	97.00	84.20	95.50	83.10	-	-	96.40	83.95
HRF	96.00	83.20	93.80	81.65	95.80	83.85	-	-

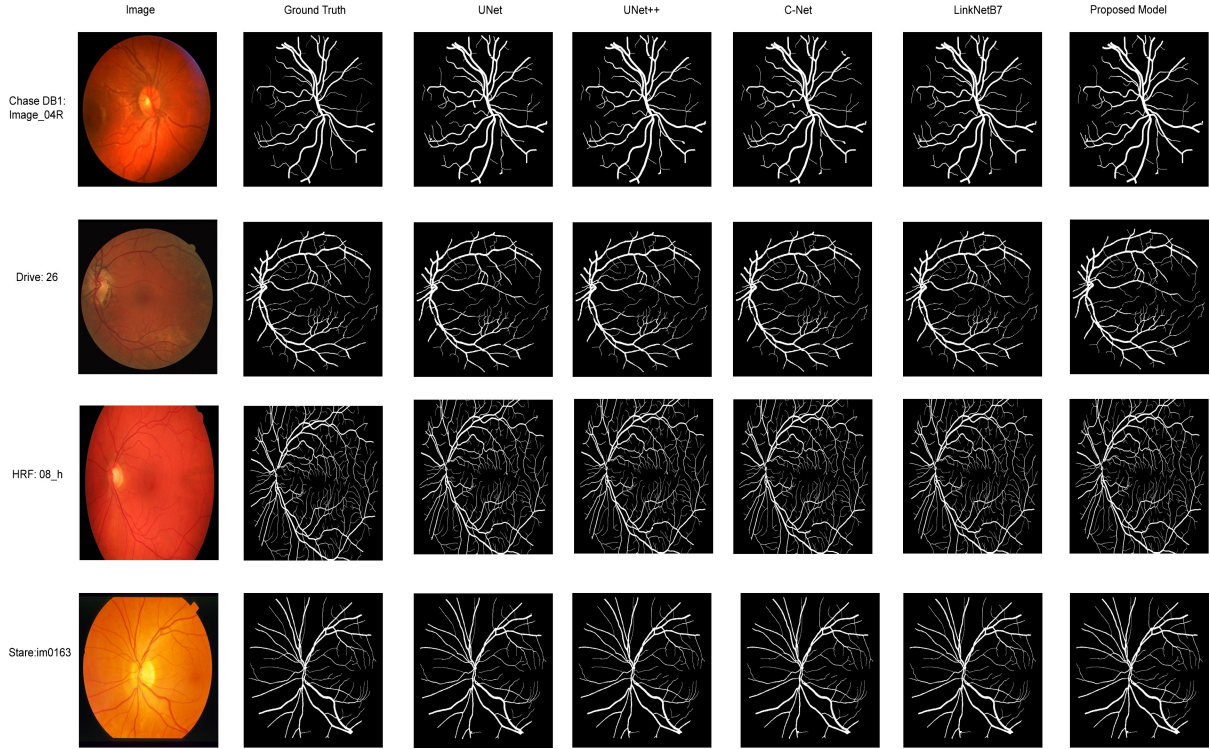


Figure 12. Mask Predictions of Blood Vessel Segmentation with Different Models

4.2. Results of optic disc segmentation

We used five models in the training stages. Table 6 shows the results of these models with different datasets. Table 7 demonstrates the comparison of studies. Table 8 shows the results of the cross-training tests.

Table 6. Optic Disc Segmentation

Model	ACC	mIoU	DI	SE	S.P.	F1	Dataset
UNet	93.85	90.20	92.80	92.70	95.10	93.20	DRISHTI-GS
UNet++	96.15	92.10	94.60	94.40	96.50	95.05	DRISHTI-GS
C-Net	96.25	92.20	95.30	94.90	97.10	95.50	DRISHTI-GS
LinkNetB7	98.10	93.80	96.60	96.40	98.50	97.40	DRISHTI-GS
Proposed	98.65	93.40	98.00	97.10	98.75	98.00	ARIA
Proposed	95.95	91.20	94.40	95.60	95.90	96.00	MESSIDOR
Proposed	98.25	93.05	98.10	97.30	98.80	97.75	REFUGE
Proposed	98.85	93.50	98.30	97.50	99.10	98.00	DRISHTI-GS
Proposed	97.50	92.30	97.25	96.10	97.80	97.35	ODSD

Table 7. Comparison of Optic Disc Segmentation

Reference	DRISHTI-GS			REFUGE			MESSIDOR		
	ACC	DI	mIoU	ACC	DI	mIoU	ACC	DI	mIoU
[23]	-	97.80	-	-	96.01	-	-	-	-
[24]	-	-	-	-	94.70	-	-	-	-
[6]	-	97.84	-	-	95.73	-	-	-	-
[15]	-	95.50	-	-	-	-	-	-	-
[16]	-	-	-	-	-	-	86.60	-	-
[22]	-	99.74	93.26	-	98.22	88.53	-	-	-
[20]	-	-	-	-	96.08	-	-	-	-
Proposed	98.85	98.30	93.50	98.25	97.75	93.05	95.95	96.00	91.20

Table 8. Cross-training test results in optic disk segmentation

	TRAIN DATASETS							
	DRISHTI-GS		REFUGE		MESSIDOR		ARIA	
Test Dataset	Acc	DI	Acc	DI	Acc	DI	Acc	DI
DRISHTI-GS	–	–	98.10	97.25	95.60	94.20	98.40	98.00
REFUGE	98.70	97.80	–	–	94.80	94.00	98.30	97.80
MESSIDOR	96.00	95.00	96.50	96.40	93.70	93.20	96.90	96.30
ARIA	98.50	97.85	97.10	96.90	94.20	93.80	–	–

Figure 13 demonstrates predicted masks with different models.

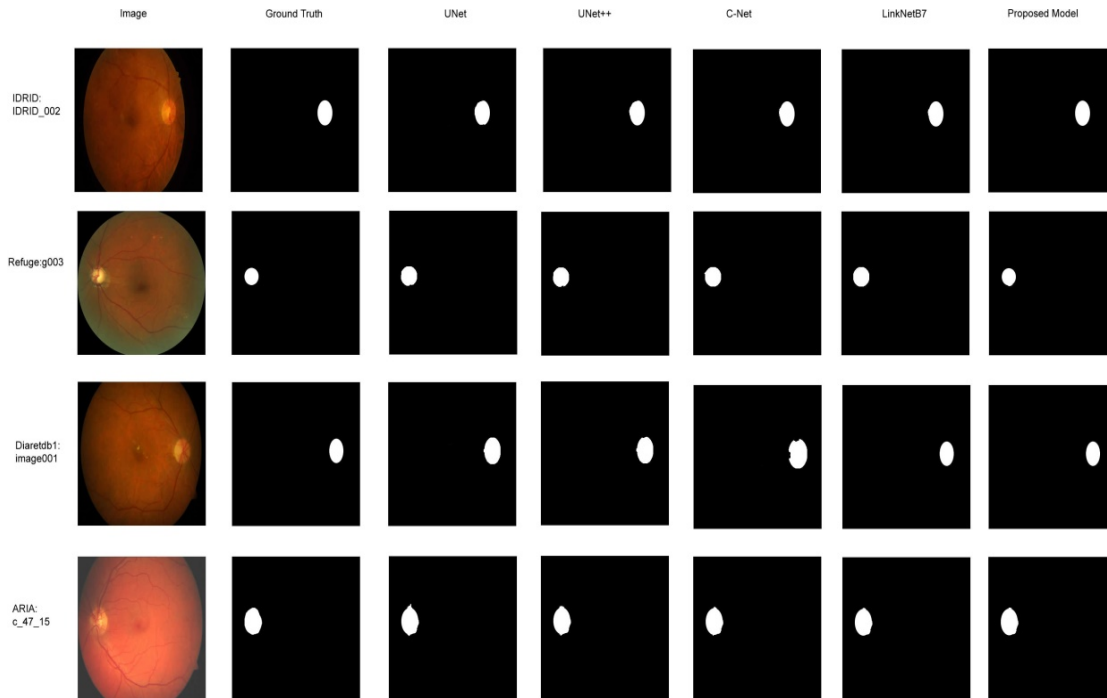


Figure 13. Mask Predictions of Optic Disc Segmentation with Different Models.

4.3. Ablation studies

We chose LinkNet as the base model. Then we add the EfficientNetB7 and ResNetC models to the base model and look at their effects on the base model. We used Accuracy, F1, MeanIoU, and Dice Accuracy and presented the test results in Tables 9 and 10.

Table 9. Ablation Study in Blood Vessel Removal Stage with BVD Dataset

Parameter	ACC	meanIoU	DI	F1
Baseline model	90.25	77.00	79.22	77.80
Baseline model + ResNet	91.05	78.35	80.20	78.75
Baseline model + ResNetC	92.20	79.15	81.10	79.45
Baseline model + EfficientNetB7	95.40	82.25	84.10	82.30
Baseline model + EfficientNetB7 + ResNet	95.60	81.75	84.60	83.00
Baseline model + EfficientNetB7 + ResNetC	96.30	82.20	85.00	83.50

Table 10. Ablation Study in Lesion Segmentation Stage with ODSD dataset

Parameter	ACC	meanIoU	DI	F1
Baseline model	94.00	89.30	93.90	93.00
Baseline model + ResNet	94.30	89.70	94.10	93.30
Baseline model + ResNetC	94.50	90.00	94.40	93.60
Baseline model + EfficientNetB7	96.50	91.20	96.00	95.70
Baseline model + EfficientNetB7 + ResNet	97.00	91.90	96.70	96.20
Baseline model + EfficientNetB7 + ResNetC	97.50	92.30	97.25	97.35

5. Conclusion

In this study LinkNetRCB7 was developed for image segmentation. This model has obtained successful results. In blood vessel segmentation, the proposed model is the most successful model except for two studies on only accuracy parameter. It is seen in the literature that vessel noise becomes more

prominent in the green color channel. Therefore, the green color channel was preferred in the study and increased success was achieved.

In ODS, the proposed model has also good results. As a result, this study proposed a DSS with a new model called LinkNet-RC7. High accuracy values were obtained in BVS and ODS stages. There is no such study in the literature that includes DSS with ODS and BVS. These and similar studies may be promising for the early diagnosis of diabetic retinopia.

In future studies, pixel loss can be further reduced by increasing the number of slices. In addition, comparisons can be made by experimenting with different color spaces such as HSV for the images to be trained.

Conflict of Interest Statement

The authors declare that there is no conflict of interest.

References

- [1] K. P. Mali, B. T. Jadhav and I. K. Mujawar. "Study of Diabetic retinopathy Detection Using Deep Learning Techniques," *International Research Journal of Humanities and Interdisciplinary Studies Journal*, Special Issue, pp. 208-216, March 2022. doi:03.2021-11278686
- [2] Y. Guo and Y. Peng. "CARNet: Cascade attentive RefineNet for multi-lesion segmentation of diabetic retinopathy images," *Complex Intelligent Systems*, vol.8, pp. 1681–1701, January 2022. doi:10.1007/s40747-021-00630-4
- [3] S. E. Mansour, D. J. Browning, K. Wong, H. W. Flynn and A. R. Bhavsar. "The Evolving Treatment of Diabetic retinopathy," *Clin Ophthalmol*, vol.14, pp. 653–678, March 2020. doi:10.2147/OPHT.S236637
- [4] G. Zhang, B. Sun, Z. Chen, Y. Gao, Z. Zhang, W. Yang and K. Li. "Diabetic retinopathy Grading by Deep Graph Correlation Network on Retinal Images Without Manual Annotations," *Frontiers in Medicine*, vol.9, pp. 1-9, April 2022. doi:10.3389/fmed.2022.872214
- [5] S. H. Sinclair and S. S. Schwartz. "Diabetic retinopathy—An Underdiagnosed and Undertreated Inflammatory, Neuro Vascular Complication of Diabetes," *Frontiers in Medicine*, vol.10, December 2019. doi:10.3389/fendo.2019.00843
- [6] S. Tang, Z. Qi, J. Granley and M. Beyeler. "U-Net with Hierarchical Bottleneck Attention for Landmark Detection in Fundus Images of the Degenerated Retina," in *Proc. of International Workshop on Ophthalmic Medical Image Analysis*, 27 September 2021, Strasbourg, France, [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/354724454_U-Net_with_Hierarchical_Bottleneck_Attention_for_Landmark_Detection_in_Fundus_Images_of_the_Degenerated_Retina. [Accessed: Dec, 5, 2022].
- [7] A. G. Marrugo and M. S. Millan. "Optic disc segmentation in retinal images," <https://iopscience.iop.org/>, 2011, [Online]. Available: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/274/1/012039/pdf>. [Accessed: Nov, 15, 2022]
- [8] S. Kumar, G. Sathyadevi and S.Sivanesh. "Decision Support System for Medical Diagnosis Using Data Mining," *researchgate.net*, May. 2011, [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/267934132_Decision_Support_System_for_Medical_Diagnosis_Using_Data_Mining. [Accessed Dec, 5, 2022]
- [9] M. Maison, T. Lestari and A. Luthfi. "Retinal Blood Vessel Segmentation using Gaussian Filter," <https://iopscience.iop.org/>, 2019, [Online]. Available: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1376/1/012023> [Accessed: Dec, 5, 2022]
- [10] Y. Yang, F. Shao, Z. Fu and R. Fu. "Blood vessel segmentation of fundus images via cross-modality dictionary learning," *Applied Optics*, vol. 57, no. 25, September 2018. doi:10.1364/AO.57.007287
- [11] S. Guo, K. Wang, H. Kang, Y. Zhang, Y. Gao and T. Li, "BTS-DSN: Deeply Supervised Neural Network with Short Connections for Retinal Vessel Segmentation," *International Journal of Medical Informatics*, vol. 126, pp. 105-113, June 2019. doi:10.1016/j.ijmedinf.2019.03.015
- [12] Y. Jiang, C. Wu, G. Wang, H. Yao, and W. Liu. "MFI-Net: A multi-resolution fusion input network for retinal vessel segmentation," *PLOS ONE*, vol. 16, no. 7, May 2021. doi:10.1007/s11760-019-01501-9
- [13] Y. Yang, F. Shao, Z. Fu and R. Fu. "Discriminative dictionary learning for retinal vessel segmentation using fusion of multiple features," *Signal, Image and Video Processing*, vol.13, pp. 1529–1537, 2019.
- [14] H. Boudegga, Y. Elloumi, M. Akil, M. H. Bedoui, R. Kachouri and A. B. Abdallah, "Fast and efficient retinal blood vessel segmentation method based on deep learning network," *Computerized Medical Imaging and Graphics*, vol. 90, June 2021. doi:10.1016/j.compmedimag.2021.101902

- [15] W. Zhou, Y. Yi, Y. Gao and J. Dai. "Optic Disc and Cup Segmentation in Retinal Images for Glaucoma Diagnosis by Locally Statistical Active Contour Model with Structure Prior," *Hindawi Computational and Mathematical Methods in Medicine*, vol. 2019, 2019. doi:10.1155/2019/8973287
- [16] A. Almazroa, W. Sun, S. Alodhayb, K. Raahemifar and V. Lakshminarayanan, "Optic disc segmentation for glaucoma screening system using fundus images," *Clinical Ophthalmology*, vol. 2017, pp. 2017-2029, November 2017. doi:10.2147/OPTH.S140061
- [17] Y. Ma, X. Li, X. Duan, Y. Peng and Y. Zhang. "Retinal Vessel Segmentation by Deep Residual Learning with Wide Activation," *Hindawi Computational Intelligence and Neuroscience*, vol. 2020, 2020. doi:10.1155/2020/8822407
- [18] B. Browatzki, J. Lies and C. Wallraven, "Encoder-Decoder Networks for Retinal Vessel Segmentation Using Large Multi-scale Patches," *dl.acm.org*, oct. 2020, [Online]. Available: https://dl.acm.org/doi/abs/10.1007/978-3-030-63419-3_5. [Accessed: Sept, 10, 2022].
- [19] L. S. Brea, D. A. De Jesus, S. Klein and T. V. Walsum, "Deep learning-based retinal vessel segmentation with cross-modal evaluation," *proceedings.mlr.press*, 2020, [Online]. Available: <http://proceedings.mlr.press/v121/sanchez-brea20a/sanchez-brea20a.pdf>. [Accessed: Sept, 5, 2022].
- [20] H. He, L. Lin, X. Tang and Z. Cai, "JOINED: Prior Guided Multi-task Learning for Joint Optic Disc/Cup Segmentation and Fovea Detection," *arxiv.org*, 1 March. 2022, [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2203.00461> [Accessed: Sept, 5, 2022].
- [21] T. Laibacher, T. Weyde and S. Jalali. "M2U-Net: Effective and Efficient Retinal Vessel Segmentation for Real-World Applications," in *Proc. Of IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW)*, 16-17 June 2019, Long Beach, CA, USA [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/1811.07738>. [Accessed: Sept, 5, 2022].
- [22] W. Liu, H. Lei, H. Xie, B. Zhao, G. Yue and B. Lei, "Multi-level Light U-Net and Atrous Spatial Pyramid Pooling for Optic Disc Segmentation on Fundus Image," in *Proc. of Ophthalmic Medical Image Analysis 7th International Workshop*, 8 oct 2020, Lima, Peru [Online]. Available: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-63419-3_11. [Accessed: Sept, 5, 2022].
- [23] B. Liu, D. Pan and H. Song, "Joint optic disc and cup segmentation based on densely connected depthwise separable convolution deep network," *BMC Medical Imaging*, vol.21, no.14, January 2021. Doi: 10.1186/s12880-020-00528-6.
- [24] R. Kamble, P. Samanta and N. Singhal, Optic Disc, "Cup and Fovea Detection from Retinal Images Using UNet++ with EfficientNet Encoder," in *Proc. of the International Workshop on Ophthalmic Medical Image Analysis, 8 October 2020*, Lima, Peru. [Online]. Available: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-63419-3_10 [Accessed: Dec, 7, 2022].
- [25] J. Lin, X. Liao, L. Yu and J. Pan, "Res-UNet Based Optic Disk Segmentation in Retinal Image," *Journal of Computers*, vol. 31 no. 3, pp. 183-194, March 2020. doi:10.3966/199115992020063103014
- [26] Z. Li, M. Jia, X. Yang and M. Xu, "Blood Vessel Segmentation of Retinal Image Based on Dense-U-Net Network," *Micromachines*, vol. 12, no. 12, December 2021. doi:10.3390/mi12121478
- [27] H. Ucuzal, "Yapay Zekâya Dayalı Anlamsal Video İşleme Yöntemlerinin Tıpta Kullanılabilirliğinin Araştırılması," Yüksek Lisans Tezi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Biyoistatistik ve Tıp Bilişimi Anabilim Dalı, İnönü Üniversitesi, Malatya, Türkiye, 2020.
- [28] S. Bozkurt, "Gerçek Zamanlı Mamografi Yorumu Karar Destek Sistemi," Doktora Tezi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Biyoistatistik ve Tıbbi Bilişim Anabilim Dalı, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, Türkiye, 2015.
- [29] Y. Park, "Concise Logarithmic Loss Function for Robust Training of Anomaly Detection Model," *arxiv.com*, 15 Jan. 2022, [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2201.05748>. [Accessed: Dec, 7, 2022].
- [30] N. Savioli, G. Montana and P. Lamata, "V-FCNN: Volumetric Fully Convolution Neural Network For Automatic Atrial Segmentation," in *Proc. of International Workshop on Statistical Atlases and Computational Models of the Heart, 14 Feb. 2019*, Granada, Spain. [Online]. Available: <https://arxiv.org/pdf/1808.01944.pdf>. [Accessed: Dec, 7, 2022].
- [31] I. Loshchilov and F. Hutter, "DECOUPLED WEIGHT DECAY REGULARIZATION," in *Proc. ICLR 2019 Conference homepage*, 6-9 May. 2019, New Orleans, Louisiana, United States. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/1711.05101>. [Accessed: Sept, 17, 2022].
- [32] L. Zhou, C. Zhang and M. Wu. "D-LinkNet with Pretrained The encoder and Dilated Convolution for Resolution Satellite Imagery Road Extraction," in *Proc. of the 2018 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW)*, 18-22 June 2018, Salt Lake City, UT, USA. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8575492>. [Accessed: Sept, 7, 2022].
- [33] A. Chaurasia and E. Culurciello. "LinkNet: Exploiting The encoder Representations for Efficient Semantic Segmentation," in *Proc. of the IEEE Visual Communications and Image Processing (VCIP)*, 10-13 December 2017, St. Petersburg, FL, USA. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/1707.03718>. [Accessed: Sept, 17, 2022].
- [34] S. Kallam, M. S. Kumar, V. A. Natarajan and R. Patan. "Segmentation of Nuclei in Histopathology images using Fully Convolutional Deep Neural Architecture," in *Proc. of the 2020 International Conference on Computing and Information Technology (ICCIT-1441)*, 23 November 2020, Tabuk, Saudi Arabia. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9213817>. [Accessed: Sept, 17, 2022].

- [35] M. Sandler, A. G. Howard, M. Zhu, A. Zhmoginov and L. Chen. "Mobilenetv2: Inverted residuals and linear bottlenecks in *Proc. of the 2018 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 18–23 June 2018, Salt Lake City, UT, USA. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/1801.04381>. [Accessed: Dec, 7, 2022].
- [36] T. Mingxing and V. L. Quoc. "EfficientNet: Rethinking Model Scaling for Convolutional Neural Networks," in *Proc. of the 36th International Conference on Machine Learning*, 9–15 June 2019, Long Beach, CA, USA. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/1905.11946>. [Accessed: Dec, 7, 2022].
- [37] M. Chetoui and M. A. Akhloufi. "Explainable Diabetic retinopathy using EfficientNET," in *Proc. of the 42nd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine Biology Society (EMBC)*, 20–24 July 2020, Montreal, QC, Canada. [Online]. Available: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33018388/> [Accessed: Sept, 15, 2022].
- [38] C. Akyel ve N. Arıcı, "Hair Removal and Lesion Segmentation with FCN8- ResNetC and Image Processing in Images of Skin Cancer," *Journal of Information Technologies*, vol. 15, no. 2, pp. 231-238, 2022. doi:10.17671/gazibtd.1060330
- [39] C. Akyel ve N. Arıcı, "LinkNet-B7: Noise Removal and Lesion Segmentation in Images of Skin Cancer," *Mathematics*, vol. 10, no. 5, pp. 736-751. doi:10.3390/math10050736
- [40] L. Nieradzick, G. Scheuermann, B. Saur and C. Gillmann, "Effect of the output activation function on the probabilities and errors in medical image segmentation," *arxiv.org*, 2 Sept. 2021, [Online]. Available: <https://arxiv.org/pdf/2109.00903.pdf> [Accessed: Dec, 7, 2022].
- [41] W. Xiong, X. Jia, D. Yang, M. Ai, L. Li and S. Wang. "DP-LinkNet: A convolutional network for historical document image binarization," *Internet Information Systems*, vol. 15, no. 5, pp. 1778–1797, May 2021. doi:10.3837/tiis.2021.05.011
- [42] M. Dönerçark ve V. Tecim, "Kurumsal Karar Destek Sistemlerinde Yapay Zeka Kullanımı: Tasarım ve Uygulama," *dergipark.org.tr*, 2020, [Online]. Available: https://dergipark.org.tr/tr/pub/ybs/issue/58550/821708#article_cite [Accessed: Sept, 15, 2022].
- [43] I. Çakmak, "Makine Öğrenmesi Yöntemleriyle Tümör Kontrol Olasılığının Hesaplanması, Yüksek Lisans Tezi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Biyoistatistik ve Tıbbi Bilişim Anabilim Dalı, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye, 2017.
- [44] M. E. Çorapçioğlu, "Tıpçıt: Tıbbi Karar Destek Sistemi Çekirdeği," Yüksek Lisans Tezi, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Başkent Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2006.

This is an open access article under the CC-BY license



GAZİ

JOURNAL OF ENGINEERING SCIENCES

Efficiency Change in Coal Mining in Türkiye

M. Esra Atukalp^a, Ayhan Kesimal^b

Submitted: 11.05.2022 Revised: 14.02.2023 Accepted: 11.03.2023 doi:10.30855/gmbd.0705049

ABSTRACT

Keywords: Lignite mining, Hard coal mining, Türkiye, Efficiency, Data envelopment analysis.

¹ This article has been derived from master's thesis titled "Efficiency Analysis in Turkish Coal Mining" which was prepared by M. Esra Atukalp under the supervision of Prof. Dr. Ayhan Kesimal, on Karadeniz Technical University, Graduate Institute of Natural and Applied Sciences, Mining Engineering Department.

^a Giresun University, Bulancak K.K. School of Applied Sciences, Dept. of International Trade and Finance 28300 - Bulancak / Giresun, Türkiye
Orcid: 0000-0001-8412-1448
e mail: esra.atukalp@gmail.com

^b Karadeniz Technical University, Faculty of Engineering, Dept. of Mining Engineering 61080 - Trabzon, Türkiye
Orcid: 0000-0002-9890-8273

*Corresponding author:
esra.atukalp@gmail.com

In connection with industrialization, technological developments and population growth, the need for energy is increasing and supplying the energy needed for the welfare of countries and societies is of great importance. Increasing energy need requires emphasis on energy resources all over the world, providing the highest level of benefit from these resources, and establishing efficiency and effectiveness in terms of the use and production of resources. In this study, it is aimed to determine the efficiency and the efficiency change in Turkish coal mining and to determine the appropriate arrangements to be made in line with the analysis result. Periodic efficiency analysis has been carried out regarding the Turkish Coal Enterprises Institution and the Turkish Hard Coal Enterprise Institution, which are producing lignite and hard coal in Türkiye, and the issues that need to be done at the point of ensuring efficiency have been tried to be determined. In the study, in which the period 2001-2020 was chosen as the review period, the activities related to lignite and hard coal mining were determined by the data envelopment analysis method. According to the results of the analysis, there is a variable activity in lignite and hard coal mining by periods. According to the results of the data envelopment analysis, it is observed that there is a need for regulations regarding maximizing salable production and net sales according to the current investment expenditure and operating expense in coal enterprises in the years when efficiency is not in question.

Türkiye'de Kömür Madenciliğinde Etkinlik Değişimi

ÖZ

Sanayileşme, teknolojik gelişmeler ve nüfus artışı ile bağlantılı olarak enerji ihtiyacı giderek artmakta ve ülkelerin, toplumların refahı için ihtiyaç duyulan enerjinin temini büyük önem arz etmektedir. Artan enerji ihtiyacı tüm dünyada enerji kaynakları üzerinde önemle durulmasını, bu kaynaklardan en üst düzeyde faydanın sağlanmasını, kaynakların kullanımı ve üretimi açısından etkinliğin, verimliliğin tesis edilmesini gerekli kılmaktadır. Bu çalışmada, Türkiye kömür madenciliğinde etkinliğin ve etkinlikteki değişimin belirlenmesi ve analiz sonucu doğrultusunda yapılması uygun görülen düzenlemelerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Türkiye'de linyit ile taşkömürü üretiminde bulunan Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu ve Türkiye Taşkömürü Kurumu'na ilişkin olarak dönemsel etkinlik analizi gerçekleştirilmiş ve etkinliğin sağlanması noktasında yapılması gerekli olan hususlar belirlenmeye çalışılmıştır. İnceleme dönemi olarak 2001-2020 döneminin seçildiği çalışmada, linyit ve taşkömürü madenciliğine ilişkin etkinlikler, veri zarflama analizi yöntemi ile belirlenmiştir. Analiz sonucuna göre linyit ve taşkömürü madenciliğinde dönemler itibarıyla değişken bir etkinlik mevcuttur. Veri zarflama analizi sonuçlarına göre, etkinliğin söz konusu olmadığı yıllarda kömür işletmelerinde, mevcut yatırım harcaması ve faaliyet giderine göre satılabilir üretim ve net satışın en üst düzeye çıkarılmasına ilişkin düzenlemelere ihtiyaç olduğu, gözlenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Linyit madenciliği, Taşkömürü madenciliği, Türkiye, Etkinlik, Veri zarflama analizi.

1. Giriş (Introduction)

Sanayileşme, teknolojik gelişmeler ve nüfus artışı ile bağlantılı olarak enerji ihtiyacı giderek artmakta ve ülkelerin, toplumların refahı için ihtiyaç duyulan enerjinin temini büyük önem arz etmektedir. Artan enerji ihtiyacı tüm dünyada enerji kaynakları üzerinde önemle durulmasını, bu kaynaklardan en üst düzeyde faydanın sağlanmasını, kaynakların kullanımı ve üretimi açısından etkinliğin, verimliliğin tesis edilmesini gerekli kılmaktadır. Artan enerji ihtiyacını karşılayabilmek için birincil-ikincil veya yenilenebilir-yenilenemez şeklinde sınıflandırmalara tabi tutulan enerji kaynaklarından daha fazla yararlanılmaya çalışılmalıdır.

Ülkeler için elektrik başta olmak üzere ikincil enerji kaynaklarına olan ihtiyaç birincil enerji kaynaklarının önemini somutlaştırmaktadır. Elektrik enerjisi üretiminde kaynak dağılımı arasında kömür, %38'lik değer ile en yüksek paya sahiptir [1]. İkincil enerji kaynaklarının oluşturulmasında, petrol, doğalgaz, kömür, odun gibi doğrudan tüketilebilen enerji kaynaklarından oluşan birincil enerji kaynakları kullanılmaktadır. Artan enerji ihtiyacı tüm dünyada mevcut ve yeni enerji kaynakları üzerinde önemle durulmasını gerektirmektedir.

Kömür üretimi, kömürün doğal koşullarına, teknolojik gelişmelere ve ekonomik üretim miktarına bağlı olarak açık ocak işletmeciliği ve yeraltı işletmeciliği şeklinde yapılmaktadır. Üretim biçimini etkileyen bu faktörler, maden yatağı ve üzerindeki toprak örtünün kalınlığı, maden yatağının yayılımı, üretim yönteminin maliyetleri, üretim yöntemleri sonucu oluşacak maden kaybı ve zararları, geliştirme maliyetleri, iklim, topografya, işgücü kullanım imkânı, sermaye olanakları, hedeflenen işlemlerin sürekliliği şeklinde sıralanabilir [2].

Türkiye'deki kömür rezervleri temel olarak linyit ve taşkömürü olarak sınıflandırılabilir. Türkiye, kömür rezervi, üretim payı, tüketim özellikleri dikkate alındığında linyit açısından önceliğe sahip bir ülkedir. Türkiye, dünya ölçeğinde gerek rezerv gerekse üretim miktarı bakımından linyitte orta düzeyde, taşkömüründe (antrasit) ise alt düzeyde yer almaktadır. Yıllar itibariyle kaynak bazında birincil enerji üretimi, linyit ve taşkömürü odaklı olarak ele alındığında 1970-1975 döneminde taşkömürü üretiminin, 1976'dan sonra linyit üretiminin fazla olduğu görülmektedir [1].

Türkiye'de linyit kaynağı Elektrik Üretim Anonim Şirketi, Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu (TKİ), Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü olmak üzere üç kamu kuruluşunda ve özel sektör ruhsat sınırları içerisinde bulunmaktadır [1; 3]. Türkiye'de taşkömürü rezervleri Zonguldak Havzasında bulunmaktadır. Taşkömürü üretimi Türkiye Taşkömürü Kurumu (TTK) ve TTK'nın imtiyaz sahasında rödovans usulü ile çalışan özel sektör tarafından gerçekleştirilmektedir [4].

Türkiye'de satılabilir kömür üretimi, Kasım 2020'de 5.861.210 ton/ay linyit, 106.711 ton/ay taşkömürü olmak üzere gerçekleşmiştir. Buna göre linyit üretimi bir önceki yılın aynı ayına göre %18,1 azalmıştır. Taşkömürü üretimi ise önceki yılın aynı ayına göre %6,6 artmıştır [5].

Tüm enerji kaynakları ile ilgili spesifik değerlendirmeler yapılabilmekle birlikte, birincil enerji kaynakları arasında yer alan kömürün elektrik üretiminde, sanayi, konut ve ticari ısıtma sistemlerinde vb. kullanılmakta olduğu ve rezerv ömrü nedeniyle öneme sahip olduğu belirtilebilir. Enerji kaynaklarının tamamı gibi kömürden sağlanabilecek en üst düzey faydanın elde edilmesi, kaynakların kullanımı ve üretim açısından etkinliğin ve verimliliğin sağlanması gerekliliğini beraberinde getirmektedir.

Bu kapsamda kömür madenciliği, kömüre ilişkin teknik analizler, birincil enerji kaynağı olarak kömürün enerji üretimine katkıları, madencilik yöntemleri vb. boyutları ile analizlerde ele alınmaktadır. Türkiye'de ve yabancı ülkelerde, kömür ve kömür madenciliği hususunda yapılmış birçok analiz bulunmaktadır. Bu analizlerden etkinlik ölçümünü konu alanlar incelendiğinde, bir ülkedeki kömür madenciliği işletmelerinin ve kömür madenciliği üretim yöntemlerinin etkinliği, bir kömür işletmesinin yıllar itibariyle gösterdiği etkinlik, farklı iki ülkenin kömür madenciliğine ilişkin etkinlik kıyaslaması gibi konuların araştırıldığı gözlenmektedir.

Türkiye ve yabancı ülkelerde kömür madenciliğine ilişkin olarak yapılmış etkinlik analizi çalışmaları Tablo 1'de yer almaktadır.

Tablo 1. Kömür madenciliği etkinliği çalışmaları (Studies on coal mining efficiency)

Yazar	Çalışma (Ülke-Dönem-Analiz Konusu)
Kulshreshtha ve Parikh [6]	Hindistan'da yeraltı ve açık ocak kömür madenciliğinin 1985-1997 dönemindeki etkinliğinin incelenmesi,
Uygun vd. [7]	Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu'na bağlı Garp Linyitleri İşletmesi Müdürlüğü (GLİ) yeraltı ve açıkocak işletmelerinin 1985-2002 dönemindeki üretim yöntemlerinin verimliliğinin karşılaştırılması
Tong ve Ding [8]	Çin'deki kömür madenlerinde güvenlik girdilerinin uygun olmayan şekilde tahsisinin yaygınlaşması nedeniyle kömür madenciliği operasyonlarında sıkça kazaların meydana geldiğini belirttikleri çalışmaları
Fang vd. [9]	Çin ve ABD'deki kömür işletmelerinin 2001-2005 dönemindeki teknik etkinliğinin karşılaştırılması
Çimen [10]	TKİ'nin 8 işletmesinin 2006-2009 dönemindeki etkinliklerinin, süper etkinliklerinin ve toplam faktör verimliliklerinin analiz edilmesi
Aydın ve Önsoy [11]	Zonguldak Taşkömürü Havzası kömür işletmelerinin 2005-2008 yılları arasındaki işgücü, sermaye, ara girdi kısmi faktör verimlilikleri ve toplam faktör verimliliklerinin analiz edilmesi
Bakırcı vd. [12]	2003-2010 yılları arasında Türkiye kömür işletmelerinin verimliliğinin ölçülmesi
Song vd. [13]	2006-2011 dönemine dayalı verilerle 36 Çin kömür işletmesinin operasyonel verimliliğinin incelenmesi. Kömür işletmelerinin iç yapısına göre üretimin üretim süreci ve kirlilik arıtma süreci olarak ayrılarak her iki süreçteki verimliliklerin değerlendirilmesi ve üretim kaybının nedenleri ve çevre verimliliği analiz edilmesi.
Kasap [14]	Türkiye'nin 2000-2015 yılları arasındaki enerji üretiminde kömür kullanımının gelişiminin, toplam faktör verimlilik indeksinden yararlanarak incelenmesi
Li ve Yang [15]	Çin'deki 39 sanayi sektörünün 2003-2014 yılları arasında kömür girdisi ve atık su kontrolüne ilişkin değişkenleri kullanarak toplam faktör verimliliğinin incelenmesi
Phuong [16]	2007-2013 döneminde Vietnam kömür madenciliği endüstrisindeki toplam faktör verimliliği ve verimlilik değişikliklerinin analiz edilmesi
Li vd. [17]	2011-2016 döneminde, 24 Çin ilinde kömür üretim verimliliklerinin ve arazi hasarının değerlendirilmesi
Wu vd. [18]	Çin'de mikro düzey kömür işletmelerinin üretim verimliliğinin ve kömür madeni verilerini kullanarak kömür işletmesi girdi ve çıktı faktörlerinin verimliliğinin analiz edilmesi
Xue vd. [19]	Çin'deki 30 ilde kömür kaynaklarının verimliliğinin 2000-2015 döneminde ölçülmesi ve kömür kaynaklarının verimliliği üzerinde etkili olan faktörlerin analiz edilmesi

İşletmeler için amaçlarına ulaşma doğrultusunda gösterilen çabaların, beklenen ve planlanan sonuçlara uygunluğu etkinlik olarak tanımlanmaktadır. Kömür madenciliği ile ilgili olarak sınırlı kaynakları kullanıma kazandıran bir organizasyonun etkin ve verimli operasyonlara sahip olması gerek ilgili organizasyon gerekse ülke açısından öneme sahip olup, kontrol edilmelidir.

Bu çalışmanın amacı Türkiye'de kömür madenciliğinde etkinliğin ele alınan faaliyet dönemleri itibariyle analiz edilmesi ve bu hususta analiz ile bağlantılı olarak yapılması uygun olabilecek düzenlemelerin ortaya konulmasıdır. Çalışmada Türkiye'de linyit ve taşkömürü üretimi faaliyetlerinde bulunan TKİ ve TTK'ya ilişkin etkinlik analizinin yapılması planlanmıştır. Bu kapsamda TKİ ve TTK'nın 2001-2020 dönemi itibariyle gelir ve üretim noktasında etkinlikleri analiz edilmiştir. Çalışmada daha sonra TKİ ve TTK'nın yıllar itibariyle etkinlikleri değerlendirilerek, kömür madenciliği için etkin olunmayan dönemlerde etkinliğin sağlanması noktasında gerekli düzenlemelerden bahsedilmiştir.

Literatürde yer alan çalışmalarda karar verme birimi olarak kömür işletmelerinin seçilmesi suretiyle işletmelerin etkinliği incelenmekte olup ilgili işletmelerin etkinlik karşılaştırması gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın özgün değeri ise karar verme birimi olarak yılların ele alınması suretiyle linyit ve taş kömürü işletmeciliğinde dönemsel etkinliklerin incelenmesi olup, bu kapsamda etkin olunmayan dönemlerde etkinliğin sağlanması noktasında gerekli düzenlemelerin ele alınması öneme sahiptir.

2. Analiz Yöntemi ve Veri Seti (Analysis Method and Data Set)

Türkiye'de linyit kömürü ve taş kömürü işletmeciliği noktasında TKİ ve TTK'nın ele alınan dönem boyunca etkinlik değişiminin belirlenmesi bu bölümde ele alınmıştır. Bölümde analizin yapılacağı yöntem ve ele alınacak veri seti açıklanmıştır.

Performans geliştirme çalışmalarında, kaynakların tam kapasitede kullanılmasına ulaşmak noktasında etkinlik ölçümleri yararlıdır [20]. Etkinlik ölçümünde kullanılan yöntemler oran analizi, parametrik yöntemler ve parametrik olmayan yöntemler olarak üçe ayrılmaktadır.

Oran analizi, tek girdi ve tek çıktı ile uygulanan ve etkinlik ölçümünde kullanılan teknikler arasında en basit ve en yaygın kullanılan yöntemdir.

Parametrik yöntemlerde, etkinlik analizi yapılacak sanayi dalına ilişkin üretim fonksiyonunun analitik bir yapıya sahip olduğu varsayılmakta ve fonksiyonun parametrelerinin belirlenmesine çalışılmaktadır. Parametrik yöntemlerde üretim fonksiyonu tanımlanmasında, çoğunlukla tek çıktı ve birçok girdi ilişkilendirilmektedir. Birçok girdi ve birçok çıktının ilişkilendirildiği parametrik yöntemler de bulunmaktadır [21]. Parametrik yöntemler arasında en yaygın kullanılanı veri zarflama analizidir.

Parametrik olmayan yöntemler, üretim fonksiyonu için analitik formun varlığını öngörmeyen, matematiksel programlamayı çözüm tekniği olarak benimseyen yöntemlerdir. Bu yöntemler, birçok girdi ve birçok çıktının söz konusu olduğu üretim ortamlarında etkinlik ölçümü için uygun yapıya sahiptirler [21]. Parametrik yöntemlerin aksine birden fazla girdi ve çıktı değişkeninin yer alması parametrik olmayan yöntemlerin avantajıdır. Öte yandan rassal hata terimi içermedikleri için hataları modele aktararak etkinlik sınırının yanlış tespit edilmesine neden olmak şeklinde dezavantajı da bulunmaktadır [22].

2.1. Veri zarflama analizi (Data envelopment analysis)

Veri zarflama analizi (VZA), birbirlerine benzer, aynı tür girdiler kullanarak aynı tür çıktılar üreten ekonomik karar verme birimlerinin (KVB) karşılaştırmalı etkinliklerinin ölçülmesi amacıyla geliştirilmiştir [23].

VZA yardımıyla; ele alınan KVB'lerin yönetimlerini değerlendirmek, KVB'lerde etkinsizliğe neden olan kaynakları ve etkinsizlik miktarlarını belirlemek, sınırlı kaynakların istenilen çıktılarının üretilmesinde daha etkin kullanacak birimlere yönlendirilmesi fikrine temel oluşturarak kaynakların birimler arasında yeniden atanmasını sağlamak şeklinde sıralanabilecek amaçlar gerçekleştirilebilmektedir [24].

VZA modelleri, girdi ve çıktı odaklı olarak incelenebilmektedirler. Girdi odaklı modeller, çıktılarının sabit olması durumunda girdilerin mümkün olduğunca azaltılabilmesi esasına dayanmaktadır. Girdi odaklı modelde etkin olmayan bir KVB, çıktılar kontrol altında iken girdilerin azaltılması yoluyla etkin hale getirilebilecektir. Çıktı odaklı modeller ise girdilerin sabit olması durumunda çıktılarının mümkün olduğunca artırılabilmesi esasına dayanmaktadır. Çıktı odaklı modelde ise etkin olmayan bir KVB, girdiler sabit tutulurken çıktılarının artırılması yoluyla etkin hale getirilebilecektir [25].

VZA sonucunda etkinliği ölçülmek istenen KVB'ler için 0 ile 1 arasında değişen bir etkinlik değeri hesaplanmakta, etkin KVB'lerin etkinlik değerleri 1 olarak belirlenmekte, etkinlik değeri, 1'den düşük olan (0 ile 1 arasında olan) diğer karar verme birimleri ise etkin bulunmamaktadır.

Veri zarflama analizinde kullanılan yöntemler temel olarak, Charnes-Cooper-Rhodes (CCR) yöntemi, Banker-Charnes-Cooper (BCC) yöntemi olarak sıralanabilir. BCC modeli ile saf teknik etkinlik ölçümü, CCR modeli ile ise saf teknik etkinlik ve ölçek etkinliği ortaya koyan toplam etkinlik (toplam teknik etkinlik) ölçümü yapılmaktadır [26; 27]. Buna göre saf teknik etkinlik ve toplam teknik etkinlik değerlerini ortaya koyan VZA ile KVB'lerin uygun ölçekte faaliyet gösterip göstermediğini ortaya koyan ölçek etkinliği değerleri de elde edilmektedir.

2.2.1. CCR modeli (CCR model)

CCR modeli, Charnes, Cooper ve Rhodes [28] tarafından 1978 yılında ölçeğe göre sabit getiri varsayımı altında tanımlanmıştır. Charnes, Cooper ve Rhodes tarafından geliştirilen VZA modelinin uygulamasında, kesirli programlama modeli ve doğrusal programlama modeli, daha sonra dual model oluşturulmuştur [27]. Kesirli ve doğrusal programlama modellerinde referans karar birimlerinin hesaplanması güçlüğü bulunmaktadır. Dual model, bu güçlüğü ortadan kaldırmaktadır. CCR için çıktıya yönelik dual model (1) no'lu eşitlikte gösterilmiştir [21; 22; 29].

$$E_k = \text{maksimum } \beta + \varepsilon \left(\sum_{i=1}^m \sigma_i^- + \sum_{r=1}^s \sigma_r^+ \right) \quad (1)$$

Modelin kısıtları;

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n x_{ij} \theta_j - x_{ik} + \sigma_i^- &= 0 & \theta_j, \sigma_i^-, \sigma_r^+ &\geq 0 \\ \sum_{j=1}^n y_{rj} \theta_j - \beta y_{rk} - \sigma_r^+ &= 0 & r &= 1, \dots, s \\ & & i &= 1, \dots, m \end{aligned}$$

s : çıktı sayısı

m : girdi sayısı

E_k : etkinliği ölçülen k'inci KVB'nin etkinlik değeri

β : Çıktıya ait genişleme katsayısı

σ_i^- : Etkinliği ölçülen k'inci KVB'nin i'inci girdisine ait atıl değer

σ_r^+ : Etkinliği ölçülen k'inci KVB'nin r'inci çıktısına ait atıl değer

θ_j : j'inci KVB'nin aldığı yoğunluk değeri

ε : pozitif küçük bir değer

2.2.2. BCC modeli (BCC model)

Banker-Charnes-Cooper (1984) [30] tarafından geliştirilen BCC modeli ise ölçeğe göre değişken getiri varsayımı altında etkinlik ölçümü yapmaktadır. Çıktı odaklı BCC modellerinde, çıktılarının en üst düzeye çıkarılması amacının bulunması nedeniyle etkinlik değerinin minimum olması hedeflenmektedir.

BCC modelinin çıktıya yönelik dual modeli (2) no'lu formülde gösterilmiştir [22].

$$E_k = \text{maksimum } \beta + \varepsilon \left(\sum_{i=1}^m \sigma_i^- + \sum_{r=1}^s \sigma_r^+ \right) \quad (2)$$

Modelin kısıtları;

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n x_{ij} \theta_j - x_{ik} + \sigma_i^- &= 0 & \theta_j, \sigma_i^-, \sigma_r^+ &\geq 0 \\ \sum_{j=1}^n y_{rj} \theta_j - \beta y_{rk} - \sigma_r^+ &= 0 & r &= 1, \dots, s \\ & & i &= 1, \dots, m \end{aligned}$$

2.2. Veri seti (Data set)

Analizde 2001-2020 dönemi, KVB olarak ele alınmış olup kömür işletmelerinin her bir yıldaki etkinliği ölçülecektir. Etkinlik ölçümünde girdi değişkeni olarak yatırım harcamaları (TL), faaliyet giderleri (TL), çıktı değişkeni olarak ise net satışlar (TL), satılabilir üretim (ton) kullanılmıştır. Veriler TKİ ve TTK'dan elde edilmiştir. Veri zarflama analizi DEAP 2.1. programı ile yapılmıştır.

KVB'lerin belirlenmesinde, ele alınan girdi ve çıktı değişkeni sayıları ile ilgili dikkat edilmesi gereken kurallar bulunmaktadır. Bunlar girdi ve çıktı sayısının çarpımından daha fazla sayıda KVB kullanılması ya da girdi ve çıktı sayısı toplamından fazla sayıda KVB'nin analize dahil edilmesi şeklinde ele alınabilir [31]. KVB olarak ele alınan, diğer ifade ile etkinliği karşılaştırılan yıl sayısı ve değişken sayısı toplamı ele alındığında bu kuralların karşılandığı görülmektedir.

Analiz çıktı odaklı veri zarflama analizi yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Çıktı odaklı yaklaşımda mevcut yatırım harcamaları ve faaliyet giderleri ile bağlantılı olarak ortaya çıkarılması mümkün olan en çok

satılabilir kömür üretimi ve kömür net satış gelirinin belirlenmesi esas alınarak kömür madenciliğine ilişkin analiz gerçekleştirilmiştir. Bunun sonucunda yatırım harcamalarının etkin kullanımı sonucu, personel motivasyonunu artırıcı ücretlendirmenin veya çalışma ortamının iyileştirmesini sağlayan planlamaların, mekanizasyon harcamalarının, kömür üretiminde ve satışlarda sebep olacağı artış ele alınabilecektir. Bu doğrultuda yapılacak incelemeler, kömür madenciliğinde etkinlikte artışı sağlayacak olan üretim ve gelir maksimizasyonuna işaret edecektir.

Dönemsel analizde kıyaslanmanın yapılabilmesi için Türk Lirası ile ifade edilen yatırım harcamaları, faaliyet giderleri ve net satışlar değişkenleri için Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerinden yararlanılarak elde edilen deflatör (2009=100) ile reel değerler elde edilerek analize dahil edilmiştir.

3. Bulgular (Results)

Türkiye’de linyit ve taşkömürü madenciliğinde etkinlik analizinde ölçeğe göre sabit getiri varsayımı altında CCR Modeli ve ölçeğe göre değişken getiri varsayımı altında BCC modelinden yararlanılmıştır. Analiz sonucunda CCR modeli ile toplam teknik etkinlik, BCC modeli ile saf teknik etkinlik ve ölçek etkinliği değerleri elde edilmiştir.

TKİ'nin 2001-2020 dönemindeki etkinlik sonuçları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. TKİ etkinlik değerleri (TKI efficiency values)

Yıl	TTE	STE	ÖE	ÖGGD
2001	1,000	1,000	1,000	-
2002	1,000	1,000	1,000	-
2003	0,731	0,785	0,931	azalan
2004	0,731	0,735	0,994	artan
2005	0,799	0,934	0,856	azalan
2006	0,702	0,769	0,912	azalan
2007	0,899	0,940	0,956	azalan
2008	1,000	1,000	1,000	-
2009	0,952	0,955	0,997	artan
2010	0,866	0,869	0,997	artan
2011	1,000	1,000	1,000	-
2012	0,969	1,000	0,969	azalan
2013	0,797	0,803	0,993	artan
2014	0,645	0,712	0,906	azalan
2015	0,641	0,661	0,970	artan
2016	0,656	0,678	0,967	artan
2017	0,650	0,670	0,971	artan
2018	0,948	1,000	0,948	azalan
2019	1,000	1,000	1,000	-
2020	1,000	1,000	1,000	-
Ortalama	0,849	0,875	0,968	

TTE : Toplam teknik etkinlik

STE : Saf teknik etkinlik

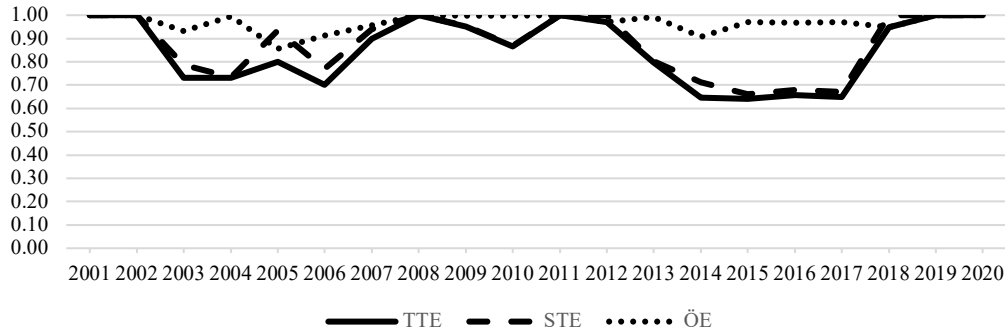
ÖE : Ölçek etkinliği

ÖGGD : Ölçeğe göre getiri değişimi

Tablo 2’de yer alan sonuçlara göre 2001, 2002, 2008, 2011, 2019 ve 2020 yılları, linyit madenciliğinde TKİ'nin saf teknik etkinlik, ölçek etkinliği ve toplam etkinliğe sahip olduğu yıllardır. 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2009, 2010, 2013, 2014, 2015, 2016 ve 2017 yıllarında TKİ saf teknik, ölçek ve toplam etkinliğe sahip değildir. Bu yıllarda TKİ'nin etkin olmama nedeni, kömür işletmesi tarafından ilgili yıllarda yapılan yatırım harcamaları ve faaliyet giderlerine kıyasla meydana getirilebilecek en üst düzeyde satılabilir üretim miktarının ve net satışların gerçekleşmemiş olmasıdır. Diğer bir ifade ile ilgili yıllarda mevcut yatırım harcaması ve faaliyet gideri ele alındığında TKİ'nin daha fazla satılabilir üretim ve net satış gerçekleştirmesi gerektiği halde gerçekleştirmemesi etkinliğin meydana gelmemesini sağlamıştır. Öte yandan ilgili yıllarda TKİ ölçek etkinliğine de sahip değildir.

2012 ve 2018 yılında ise linyit kömürü madenciliğinde ölçek etkinliği olmasa dahi, mevcut girdilerle en üst düzeyde kömür üretimi ve satışının olduğu, bu nedenle TKİ'nin saf teknik etkin olduğu görülmektedir.

TKİ'nin saf teknik etkinlik, ölçek etkinliği ve bileşimi olan toplam teknik etkinlik değerleri ve değişimi 2001-2020 dönemi itibariyle Şekil 1’de görülmektedir.



Şekil 1. TKİ etkinlik değerlerinin yıllar itibariyle görünümü (View of TKI efficiency values by years)

Şekil 1 incelendiğinde 2003-2007 döneminde, 2009, 2010 yılında ve 2013-2017 döneminde saf tek etkinliğin azalış gösterdiği görülmekte olup, söz konusu yıllarda mevcut yatırım harcaması ve faaliyet giderine karşılık en üst düzeyde satılabilir kömür üretimi ve satışın meydana gelmediği söylenebilir.

Ele alınan yılda girdilerinin aynı oranda artırılması durumunda çıktı seviyesindeki artışın girdi seviyesindeki artıştan fazla olması durumu ölçeğe göre artan getiri, çıktı seviyelerindeki artışın girdilerindeki artıştan az olması durumu ölçeğe göre azalan getiri, artışın girdi ve çıktı seviyesinde aynı kalması durumu ölçeğe göre sabit getiri söz konusu olacaktır [32]. Buna göre Tablo 2 ölçeğe göre getiri değişimi sonuçlarına göre 2004, 2009, 2010, 2013, 2015, 2016, 2017 yıllarında her ne kadar etkinlik söz konusu olmasa da ölçeğe göre etkinlik değişim verilerine göre, bu yıllarda yatırım ve faaliyet giderinde meydana gelen 1 birimlik artışa karşın üretim ve satış düzeyinde daha çok artış gözlemlenmiştir.

TTK'nın 2001-2020 dönemindeki etkinlik sonuçları Tablo 3'te verilmiştir. Tablo 3'te yer alan sonuçlara göre 2001, 2002, 2004, 2008 ve 2010 yılları taşkömürü madenciliğinde TTK'nın saf teknik etkinlik, ölçek etkinliği ve toplam etkinliğe sahip olduğu yıllardır. Bu yıllarda yatırım harcamaları ve faaliyet giderleri ele alındığında üretim ve satış maksimize edilmiştir. 2003, 2005, 2006, 2009, 2013, 2016, 2017 ve 2018 yıllarında TTK saf teknik, ölçek ve toplam etkinliğe sahip değildir. İlgili yıllarda mevcut yatırım harcaması ve faaliyet giderine göre TTK'nın satılabilir üretim ve net satışın en üst düzeye çıkarılmadığı söylenebilir.

Tablo 3. TTK etkinlik değerleri (TTK efficiency values)

Yıl	TTE	STE	ÖE	ÖGGD
2001	1,000	1,000	1,000	-
2002	1,000	1,000	1,000	-
2003	0,989	0,993	0,997	azalan
2004	1,000	1,000	1,000	-
2005	0,874	0,923	0,947	artan
2006	0,583	0,934	0,625	azalan
2007	0,999	1,000	0,999	azalan
2008	1,000	1,000	1,000	-
2009	0,938	0,949	0,988	artan
2010	1,000	1,000	1,000	-
2011	0,921	1,000	0,921	artan
2012	0,827	1,000	0,827	artan
2013	0,743	0,856	0,869	artan
2014	0,770	1,000	0,770	artan
2015	0,561	1,000	0,561	artan
2016	0,471	0,620	0,759	artan
2017	0,549	0,696	0,788	artan
2018	0,507	0,835	0,608	artan
2019	0,514	1,000	0,514	artan
2020	0,470	1,000	0,470	artan
Ortalama	0,786	0,940	0,832	

TTE : Toplam teknik etkinlik

STE : Saf teknik etkinlik

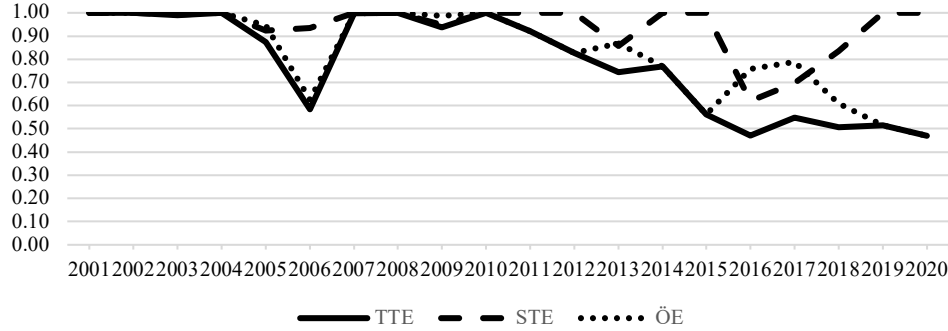
ÖE : Ölçek etkinliği

ÖGGD : Ölçeğe göre getiri değişimi

2007, 2011, 2012, 2014, 2015, 2019 ve 2020 yılında ise taşkömürü madenciliğinde ölçek etkinliği

olmasa dahi, mevcut girdilerle en üst düzeyde kömür üretimi ve satışının olduğu, bu nedenle TTK'nın saf teknik etkin olduğu görülmektedir.

Saf teknik etkinlik, ölçek etkinliği ve bileşimi olan toplam teknik etkinlik değerleri ve değişimi TTK için 2001-2020 dönemi itibariyle Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2. TTK etkinlik değerlerinin yıllar itibariyle görünümü (View of TTK efficiency values by years)

Şekil 2'ye göre 2003, 2005, 2006, 2009, 2013, 2016, 2017, 2018 yıllarında saf teknik etkinlik azalmıştır. Buna göre ilgili yıllarda mevcut yatırım harcaması ve faaliyet giderine karşılık satılabilir kömür üretim ve satışın maksimize edilmediği anlaşılmaktadır. Öte yandan Tablo 3 ölçeğe göre getiri değişimi sonuçlarına göre 2005, 2009, 2013, 2016, 2017, 2018 yıllarında etkinlik söz konusu olmasa da ölçeğe göre etkinlik değişim verilerine göre, bu yıllarda yatırım ve faaliyet giderinde meydana gelen artışın ölçeğe göre, daha çok üretim ve satış artışı gözlemlenmiştir.

TKİ ve TTK'nın etkin olmadığı yıllarda ilgili işletmelerin çıktılarını (net satış ve satılabilir üretim) artırması, etkin olmalarını sağlayacaktır. TKİ ve TTK'nın etkin olmadıkları yıllarda etkin olabilmeleri amacıyla çıktılarının mevcut duruma göre sahip olması gereken artış yüzdesi, diğer bir ifade ile etkinlik amacıyla hedeflenmesi gereken çıktılara ulaşmak için çıktılarını yüzde kaç artırmalarının gerekli olduğunu gösteren değerler Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Hedef değişim yüzdeleri (Target change percentages)

Yıl	TKİ		TTK	
	Net satışlar	Satılabilir üretim	Net satışlar	Satılabilir üretim
2001	---	---	---	---
2002	---	---	---	---
2003	27	27	4	1
2004	36	47	---	---
2005	7	7	17	8
2006	30	30	7	55
2007	6	8	---	---
2008	---	---	---	---
2009	5	7	7	5
2010	15	18	---	---
2011	---	---	---	---
2012	---	---	---	---
2013	25	61	25	17
2014	40	136	---	---
2015	51	173	---	---
2016	47	175	80	61
2017	49	157	44	51
2018	---	---	20	35
2019	---	---	---	---
2020	---	---	---	---

VZA analiz yöntemi sonucunda, etkinliğin sağlanması için ilgili çıktılarının olması gereken değerler belirlenmektedir. Tablo 4 verilerine göre 2010 yılına kadar TKİ'de hem üretim hem satışta hedeflenen artışların yakın olduğu, 2014 sonrasında ise üretimde hedeflenmesi gereken düzeyin çok yüksek olduğu görülmektedir. TTK'da ise analiz her hangi bir yılında üretim ve satış arasında önemli bir hedef farklılığı bulunmamaktadır. TKİ için 2018 ve sonrasında, TTK için ise 2019 ve sonrasında etkinliğin ve bu doğrultuda olması gereken (hedeflenen) kömür üretim ve satış değerlerinin sağlandığı

görülmektedir.

4. Sonuçlar ve Tartışma (Results and Discussion)

Türkiye için kömür üretiminin artırılarak enerji ihtiyacının karşılanması ve noktada enerji üretiminde yararlanılacak yerli kömür üretimin artırılması öneme sahiptir. Kömür madenciliğinde gelişme sağlanabilmesi için mevcut kaynakların etkin kullanımı önem arz etmektedir. Bu doğrultuda enerji politikalarında linyit ve taşkömürü üretimine önem verilmesi gerekmektedir. Mevcut kömür rezervlerinin enerji, çevre ve ekonomi vb. tüm şartlar dikkate alınarak en uygun şekilde işletilip üretimde artışın sağlanması ve tüm enerji kaynakları dikkate alındığında kömürün önemli bir alternatif olma avantajına sahip olma durumunun sürdürülebilirliği için üretimde etkinliğin tespit edilmesi ve artırılmasına ilişkin çalışmalara yer verilmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda da kömür madenciliğinde sınırlı kaynaklar ile hedeflere ulaşılma derecesinin belirlenmesi için performans ölçümlerinin yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada linyit ve taşkömürü işletmelerinin üretim ve satış geliri doğrultusunda etkinliği analiz edilmiştir.

Kömür madenciliğinin bütün olarak ele alınması ile linyit ve taşkömürü madenciliğinin etkinlik değişiminin belirlenmesi amacıyla çalışmada, linyit ve taşkömürü madenciliğinin yıllar itibariyle etkinliğinin analizi yapılmıştır. Analiz sonucuna göre linyit ve taşkömürü madenciliğinde dönemler itibariyle değişken bir etkinlik mevcuttur. Etkin olunmayan yıllarda TKİ ve TTK'nın etkin olmama nedeni, kömür işletmesi tarafından ilgili yıllarda yapılan yatırım harcamaları ve faaliyet giderlerine kıyasla meydana getirilebilecek en üst düzeyde satılabilir üretim miktarının ve net satışların gerçekleşmemiş olmasıdır.

Üretime ihtiyaç düzeyi, çevre ve ekonomik optimizasyon hususları da dikkate alınarak, kömür işletmeleri için, söz konusu girdilerle (yatırım harcaması ve faaliyet gideri) daha fazla üretimin ve/veya satışın gerçekleştirilmesi hususunda yapılması gereken iyileştirmeler, çıktıların en üst düzeye çıkarılmasına ilişkin düzenlemeler, işletmelerin etkin hale gelmelerini sağlayacaktır. TKİ ve TTK için incelenen yılların son döneminde ait sonuçlar ele alındığında etkinliğin devamlılığının sağlandığı görülmektedir.

Çıkar Çatışması Beyanı (Conflict of Interest Statement)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması bildirilmemiştir.

Kaynaklar (References)

- [1] Türkiye Maden Mühendisleri Odası Birliği, "Kömür ve Enerji Raporu 2020", [Online]. <https://enerji.mmo.org.tr/wp-content/uploads/2020/09/MADEN-M.O-K%C3%96M%C3%99 CR-VR-ENERJ%C4%B0-RAPORU-2020.pdf> [Erişim: 05 Temmuz 2021].
- [2] H. Ergin, *Yeraltı Kömür İşletmeciliğinde Maliyet Kontrolü Standart Maliyetler ile Kontrol*. Eskişehir: T.C. Anadolu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Yayınları, Üniversite Yayın No: 226, İİBF Yayın No: 50, 1987.
- [3] Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu Genel Müdürlüğü, "2020 Yılı Faaliyet Raporu", [Online]. <https://webim.tki.gov.tr/file/8c2075ff-e388-4f53-b84f-f1ca36647497?download> [Erişim: 12 Temmuz 2021].
- [4] Türkiye Taşkömürü Kurumu Genel Müdürlüğü, "2020 Yılı Faaliyet Raporu", [Online]. http://www.taskomuru.gov.tr/file/2020_faaliyet.pdf [Erişim: 12 Temmuz 2021].
- [5] Türkiye İstatistik Kurumu, "Katı Yakıtlar", Kasım 2020. [Online]. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Kati-Yakitlar-Kasim-2020-37442> [Erişim: 12 Temmuz 2021].
- [6] M. Kulshreshtha and J. K. Parikh, "Study of efficiency and productivity growth in opencast and underground coal mining in India: a DEA analysis," *Energy Economics*, vol. 24, no. 5, 439-453, 2002. doi:10.1016/S0140-9883(02)00025-7
- [7] M. Uygun, Y. Kasap ve A. Konuk, "Tunçbilek bölgesi kömür madenciliğinde uygulanan işletme yöntemlerinin verimlilik analizi," *Madencilik*, cilt. 46, sayı 1, ss. 25-32, 2007.
- [8] L. Tong and R. Ding, "Efficiency assessment of coal mine safety input by data envelopment analysis," *Journal of China University of Mining & Technology*, vol. 18, pp. 88-92, 2008. doi:10.1016/S1006-1266(08)60019-X
- [9] H. Fang, J. Wu and C. Zeng, "Comparative study on efficiency performance of listed coal mining companies in China and the US," *Energy Policy*, vol. 37, pp. 5140-5148, 2009. doi:10.1016/j.enpol.2009.07.027

- [10] S. Çimen, "The analysis of total factor efficiency in the public lignite mining organizations in Turkey", Ph.D. dissertation, Middle East Technical University, Ankara, Türkiye, 2011.
- [11] H. Aydın ve G. Önsoy, "Zonguldak taşkömürü havzası kömür işletmelerinde verimlilik analizi," *Madencilik*, cilt 50, sayı 1, ss. 33-41, 2011.
- [12] F. Bakırcı, E. Yakut, A. Demirci ve M. Gündüz, "Efficiency measurement in Turkish coal enterprises using data envelopment analysis and data mining," *Canadian Social Science*, vol. 10, no. 1, pp. 103-110, 2014. doi:10.3968/j.css.1923669720141001.3046
- [13] M. Song, A. Wang and L. Cen, "Comprehensive efficiency evaluation of coal enterprises from production and pollution treatment process," *Journal of Cleaner Production*, vol. 104, pp. 374-379, 2015. doi:10.1016/j.jclepro.2014.02.028
- [14] Y. Kasap, "Enerji kaynağı olarak kömür kullanımının etkinlik değişimi", içinde *Türkiye 21. Uluslararası Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, ICCET 2018*, Zonguldak, Türkiye, Nisan 11-13, 2018, ss. 93-104.
- [15] L. Li and W. Yang, "Total factor efficiency study on China's industrial coal input and wastewater control with dual target variables," *Sustainability*, vol. 10, no. 7, pp. 1-22, 2018. doi:10.3390/su10072121
- [16] V. H. Phuong, "Total factor productivity growth, technical progress & efficiency change in Vietnam coal industry - nonparametric approach," *E3S Web of Conferences* 3 vol. 35, 2018. doi:10.1051/e3sconf/20183501009
- [17] Y. Li, Y. H. Chiu and T. Y. Lin, "Coal production efficiency and land destruction in China's coal mining industry," *Resources Policy*, vol. 63, pp. 1-11, 2019. doi:10.1016/j.resourpol.2019.101449
- [18] P. Wu, Y. Wang, Y. Chiu, Y. Li and T.Y. Lin, "Production efficiency and geographical location of Chinese coal enterprises - undesirable EBM DEA," *Resources Policy*, vol. 64, 2019. doi:10.1016/j.resourpol.2019.101527
- [19] L. Xue, W. Zhang, Z. Zheng, Z. Liu, S. Meng, H. Li and Yulin, Du, "Measurement and influential factors of the efficiency of coal resources of China's provinces: Based on Bootstrap-DEA and Tobit," *Energy*, vol. 221, pp. 1-14, 2021. doi:10.1016/j.energy.2021.119763
- [20] Z. Akal, *İşletmelerde Performans Ölçüm ve Denetimi: Çok Yönlü Performans Göstergeleri*. Ankara: MPM Yayınları No: 473, 2002.
- [21] R. Yolalan, *İşletmelerarası Görelî Etkinlik Ölçümü*. Ankara: Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları No: 483, 1993.
- [22] S. E. Dinçer, *Stratejik Planlama ve Veri Zarflama Analizinde Etkinlik Ölçümü*. İstanbul: Der Yayınları, 2011.
- [23] M. Mercan ve R. Yolalan, "Türk bankacılık sisteminde ölçek ve mülkiyet yapıları ile finansal performans ilişkisi," *İMKB Dergisi*, cilt 4, sayı 15, ss. 1-26, 2000.
- [24] P. Andersen and N. C. Petersen, "A procedure for ranking efficient units in data envelopment analysis," *Management Science*, vol. 39, no. 10, pp. 1261-1264, 1993. doi:10.1287/mnsc.39.10.1261
- [25] M. M. Martić, M. S., Novaković and A. Baggia, "Data envelopment analysis - basic models and their utilization," *Journal of Management Informatics and Human Resources*, vol. 42, no. 2, pp. 37-43, 2009.
- [26] W. F. Bowlin, "Measuring performance: an introduction to data envelopment analysis (DEA)," *The Journal of Cost Analysis*, vol. 15, no. 2, pp. 3-27, 1998. doi:10.1080/08823871.1998.10462318
- [27] S. Cingi ve Ş. A. Tarım, *Türk banka sisteminde performans ölçümü DEA-Malmquist TFP endeksi uygulaması*. Türkiye Bankalar Birliği Araştırma Tebliği Serisi, Sayı: 2000-01, 2000.
- [28] A. Charnes, W. W. Cooper and E. Rhodes, "Measuring the efficiency of decision making units," *European Journal of Operational Research*, vol. 2, no. 6, pp. 429-444, 1978.
- [29] R. D. Banker, W. W. Cooper, L. M. Seiford, R. M. Thrall and J. Zhu, "Returns to scale in different DEA models," *European Journal of Operational Research*, vol. 154, pp. 345-362, 2004. doi:10.1016/S0377-2217(03)00174-7
- [30] R. D. Banker, A. Charnes and W. W. Cooper, "Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis," *Management Science*, vol. 30, no. 9, pp. 1078-1092, 1984. doi:10.1287/mnsc.30.9.1078
- [31] A. Boussofiane, R.G. Dyson and E. Thanassoulis, "Applied data envelopment analysis," *European Journal of Operational Research*, vol. 52, no 1, pp. 1-15, 1991. doi:10.1016/0377-2217(91)90331-0
- [32] H. Aktaş, "İşletme performansının ölçülmesinde veri zarflama analizi yaklaşımı," *Yönetim ve Ekonomi*, cilt 7, sayı 1, ss. 163-175, 2001.



GAZİ

JOURNAL OF ENGINEERING SCIENCES

Structural Behavior of Steel Bolted Connections having Different Types of Corrosion Damage

Yasin Duysak^a, Günnur Yavuz^b

Submitted: 20.12.2022 Revised: 04.03.2023 Accepted: 15.03.2023 doi:10.30855/gmbd.0705050

ABSTRACT

Keywords: steel, bolted connection, corrosion, tensile strength, ductility

^a* Kırklareli University,
Engineering Faculty,
Dept. of Civil Engineering
Kırklareli, Türkiye
Orcid: 0000-0002-1764-7455
e mail: yasinduysak@klu.edu.tr

^b Konya Technical University,
Faculty of Engineering and Natural
Sciences,
Dept. of Civil Engineering
Konya, Türkiye
Orcid: 0000-0002-8725-7129

*Corresponding author:
yasinduysak@klu.edu.tr

Today, the use of steel structural systems is increasing rapidly due to its features such as high strength, fast manufacturing and ductility. Despite to the superlative properties of steel material, there are also some disadvantages like the formation of corrosion. Corrosion damage in steel structural systems, especially in the connection regions, is of great importance. A major damage to the structural members or fasteners in the connection regions can cause serious harms to the structure. In this study, the structural behavior of 6 mm thick bolted joint plates having different corrosion damages which were made of S235 grade steel was investigated experimentally under the effect of axial tensile force. For the bolted connection test specimens three types of corrosion formation methods including accelerated corrosion only on the bolt, accelerated corrosion on both the plate and the bolt, and artificial corrosion damage only on the bolt were applied. The amount of corrosion was formed as uniform or artificial corrosion with a loss of material of 10% by mass. Structural behavior differences, changes in bearing capacity and ductility of bolted connected test specimens were investigated and the most ductile behavior were obtained in test specimens with corrosion on both plate and bolt.

Farklı Tipte Korozyon Hasarlı Çelik Bulonlu Birleşimlerin Yapısal Davranışı

ÖZ

Günümüzde yüksek dayanım, hızlı imalat ve süneklik gibi özelliklerinden dolayı çelik taşıyıcı sistemlerinin kullanımı hızla artmaktadır. Çelik malzemenin üstün özelliklerinin yanında korozyon oluşumu gibi bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Çelik taşıyıcı sistemlerde özellikle birleşim bölgelerinde meydana gelen korozyon hasarı büyük öneme sahiptir. Birleşim bölgelerindeki yapısal elemanlarda veya birleşim araçlarında oluşacak büyük bir hasar yapının büyük ölçüde zarar görmesine sebep olabilmektedir. Bu çalışmada, S235 kalitesinde çelikten imal edilmiş 6 mm kalınlığındaki bulonlu birleşimli levhalarda farklı korozyon hasarları oluşması durumunda aksel çekme kuvveti etkisi altındaki yapısal davranış deneysel olarak incelenmiştir. Bulonlu birleşimli deney numuneleri için sadece bulonda hızlandırılmış korozyon, hem levhada hem bulonda hızlandırılmış korozyon ve sadece bulonda yapay korozyon hasarı olmak üzere 3 farklı tipte korozyon oluşturulmuştur. Korozyon miktarı kütlece %10 malzeme kaybı olacak şekilde üniform veya yapay korozyon olarak oluşturulmuştur. Bulonlu birleşimli levha deney numunelerinde farklı tipte korozyon hasarları için gözlenen yapısal davranış farklılıkları, taşıma kapasitesindeki ve süneklikteki değişimler incelenmiş ve en sünek davranış hem levhada hem bulonda korozyon olan deney numunelerinde elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çelik, bulonlu birleşim, korozyon, çekme dayanımı, süneklik

1. Introduction

The use of steel structural systems is becoming more common today due to its high strength, fast manufacturing, ductility, energy consumption capacity, etc. Structures such as steel bridges, port and parking lots are directly exposed to external environmental conditions. Corrosion may occur within the steel structural elements due to exposure to different corrosive environmental conditions such as humidity, temperature difference, soil effect, acid rain, etc. [1]. Corrosion is the physical and chemical deterioration of metals or metal alloys under environmental effects. With the formation of corrosion, mass loss emerges in the metal as a result of the physical and chemical reactions in the metal, and there is no behavioral difference proportional to the mass loss [2]. Research continues to study the changes in structural behavior that occur as a result of corrosion damage in steel structural system elements and connections. Wu et al. (2017) examined the ultimate load bearing capacity of beams in their experimental study for different corrosion zones and different corrosion thickness parameters in steel beams composed of I sections [3]. Saad-Eldeen et al. (2014) examined the behavior of box-section steel beams damaged by corrosion under vertical load experimentally and using finite element analysis [4]. Ahn et al. (2017) carried out an experimental study under artificial corrosion on high-strength bolted joint specimens that transfer loads by friction force [5]. Zhao et al. (2020) investigated pitting corrosion in Q345 steel. They concluded that there is no relationship between mass loss and strength [6]. Zhang et al. (2021) examined the effect of the interaction between corrosion and high temperature on the mechanical properties of Q355 structural steel [7]. Jiang et al. (2022) examined preload loss of high-strength bolts in friction joints considering the effects of corrosion damage and fatigue loading. [8].

In this study, for bolted joint plate specimens made of S235 steel, 10% accelerated uniform corrosion by mass was formed on bolt and plate, 10% accelerated uniform corrosion by mass was formed only on the bolt and 10% artificial corrosion by mass was formed only on the bolt, and these were tested under the effect of axial tensile force. As a result, the bearing capacity and behavior differences in bolted connections with different corrosion damage were examined.

2. Experimental Study

In practice, it is generally observed that corrosion damage in steel structural members occurs in web-to-flange joint areas, weld seams or bolted connection regions of the bearing elements. Steel construction systems can be protected against corrosion with paint or various coatings, however environmental factors can also cause corrosion damage on steel elements by eroding the coatings [9]. In this study, the effect of corrosion damage on bearing capacity and structural behavior formed on all elements in the joint area and on only bolts in bolted joint plate test specimens under the influence of axial tensile force was examined. Types of corrosion and corrosion zones on the connections are shown in Table 1. Since corrosion causes mass loss in metals, corrosion damage is formed in 2 different types in this study. In the first type application, the elements were exposed to accelerated corrosion in NaCl solution as shown in Figure 1.

Table 1. Types of corrosion and corrosion zones on the connections

Specimen	Corrosion zone
SB-1 SB-2	Non-corroded (reference specimens)
SB1-c SB2-c	Accelerated corrosion in bolt and joint area
SB1-bc SB2-bc	Accelerated corrosion only on bolts
SB1-ac SB2-ac	Artificial corrosion only on bolts

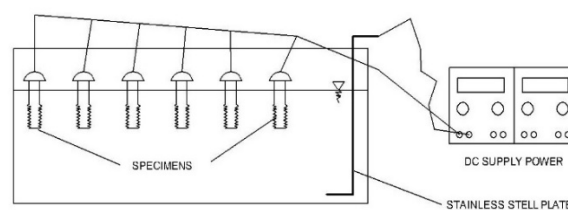


Figure 1. Schematic view of accelerated corrosion test setup

The accelerated corrosion formation test setup and the appearance of the bolts after they are placed in the solution are shown in Figure 2. In the second type of application, considering that corrosion causes mass loss in metals, artificial corrosion application was performed by mechanically reducing the bolt cross-section as shown in Figure 3. Corrosion damage on the bolts was applied so as to have 10% loss in mass.

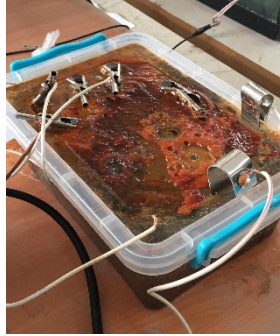


Figure 2. Appearance of bolts in solution



Figure 3. Artificial corrosion application

In the accelerated corrosion test setup, the specimens were immersed in a solution containing 3.5% NaCl. In the experimental setup, stainless steel plate was used as the cathode region and specimens were used as the anode region. With a current of 1 Ampere supplied from the DC power source, electron flow occurred from the test specimens to the stainless steel plate. In the areas of the specimens in contact with the solution, a loss in mass occurred over time. Accelerated corrosion can be applied by keeping the current or voltage fixed [10]. In this experimental study, the current was kept fixed in accelerated corrosion application. In addition, the time period in which the mass losses are to occur in the specimens calculated using the Faraday's equation (Equation 1) in ASM Handbook (1992) was determined [11].

$$A = \frac{I \cdot t \cdot A_w}{n \cdot F} \quad (1)$$

Where, M: mass of dissolved metal, I: current (A), t: time (second), A_w : atomic unit weight of iron, n: atomic valence of iron (since the rust formed is often $Fe(OH)_2$ n is taken as 2 or 3), F: Faraday constant (96500 coulombs)

In the artificial corrosion application, after calculating the amount of weight to be corroded, the bolt masses were reduced by 10% (in the amount of 2 grams) with the help of a grinding machine so that the surfaces of the cut parts in the threaded shank part of the bolts were to be flat (Figure 4).



Figure 4. Accelerated and artificial corrosion of the bolts

A total of 8 test specimens were produced, two each the corrosion-free reference specimens and the test specimens with artificial and accelerated corrosion applied. The thickness of bolted joint plates made of S235 steel is 6 mm. Reference (corrosion-free), accelerated corroded and artificially corroded

bolt specimens are shown in Figure 4. Grade 8.8 M12 bolts were used in bolted connections.

Corrosion-free reference bolted plate specimens are named as SB1 and SB2, the specimens with accelerated corrosion applied on the bolt and plate are named as SB1-c and SB2-c. The specimens with accelerated corrosion applied only on the bolts are named as SB1-bc and SB2-bc. The specimens with artificial corrosion applied only on the bolts are named as SB1-ac and SB2-ac. Details of test specimens with bolted connections are shown in Figure 5 [12].

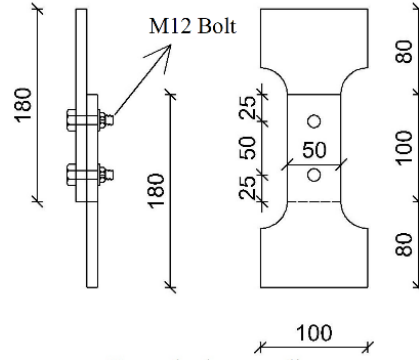


Figure 5. Test specimen details with bolted joint

Test specimens with corrosion damage were subjected to axial tensile test using a testing device with 110 kN capacity (Figure 6). For the axial tensile test, the constant speed applied to the jaws of the testing device was set as 2 mm/min.

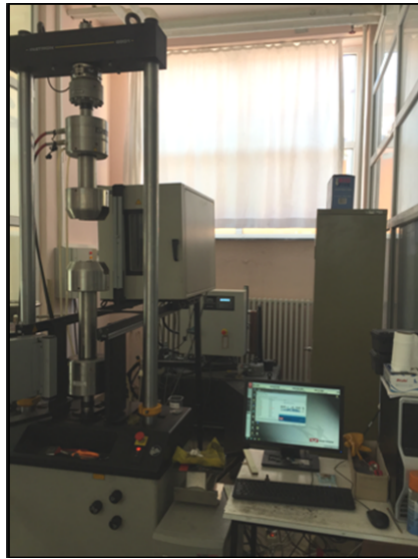


Figure 6. Axial tensile test device

The tensile stress-strain diagrams obtained from the axial tensile tests for the corrosion-free reference test specimens are given in Figure 7. The tensile stress-strain diagrams obtained for the test specimens with accelerated corrosion on the bolt and plate are given in Figure 8. The tensile stress-strain diagrams obtained for the test specimens with accelerated corrosion on the bolt are given in Figure 9. The tensile stress-strain diagrams obtained for the test specimens with artificial corrosion on the bolt are given in Figure 10.

The pre-test and post-test appearances of the bolted joint test specimens are shown in Figure 11. The comparison of the stress values for all test specimens is given in Table 2 whereas the comparison of the unit elongation values is given in Table 3. In addition, the regions where fracture occurred in the samples as a result of the axial tensile test are shown in Table 4.

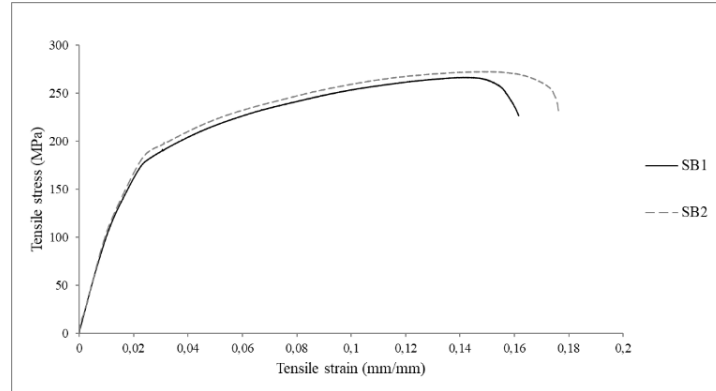


Figure 7. The tensile stress-strain diagrams for the reference test specimens

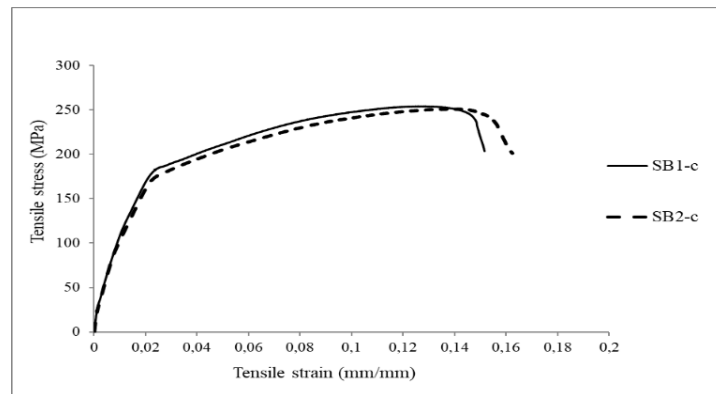


Figure 8. The tensile stress-strain diagrams for the test specimens with accelerated corrosion on the bolt and plate

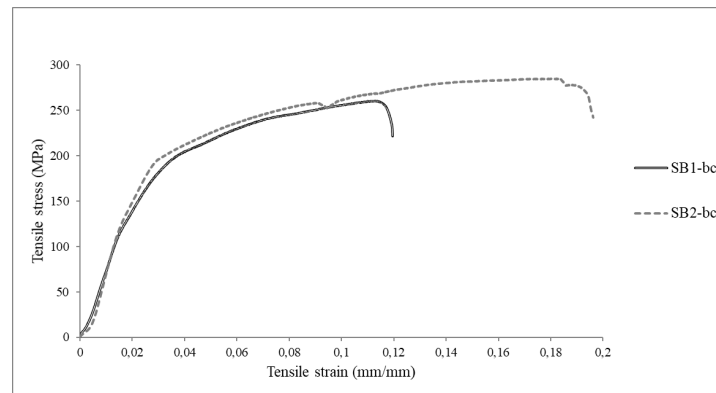


Figure 9. The tensile stress-strain diagrams for the test specimens with accelerated corrosion on the bolt

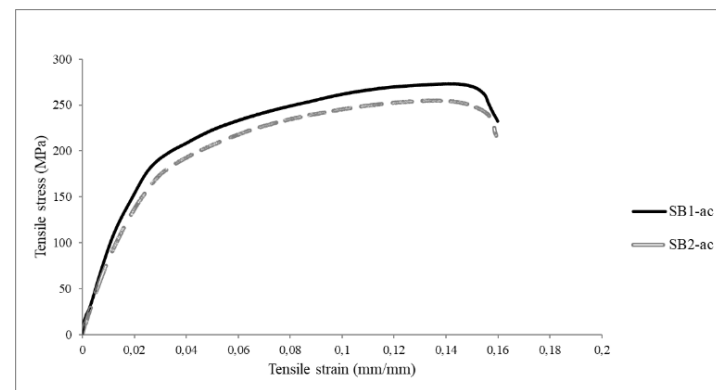


Figure 10. The tensile stress-strain diagrams for the test specimens with artificial corrosion on the bolt

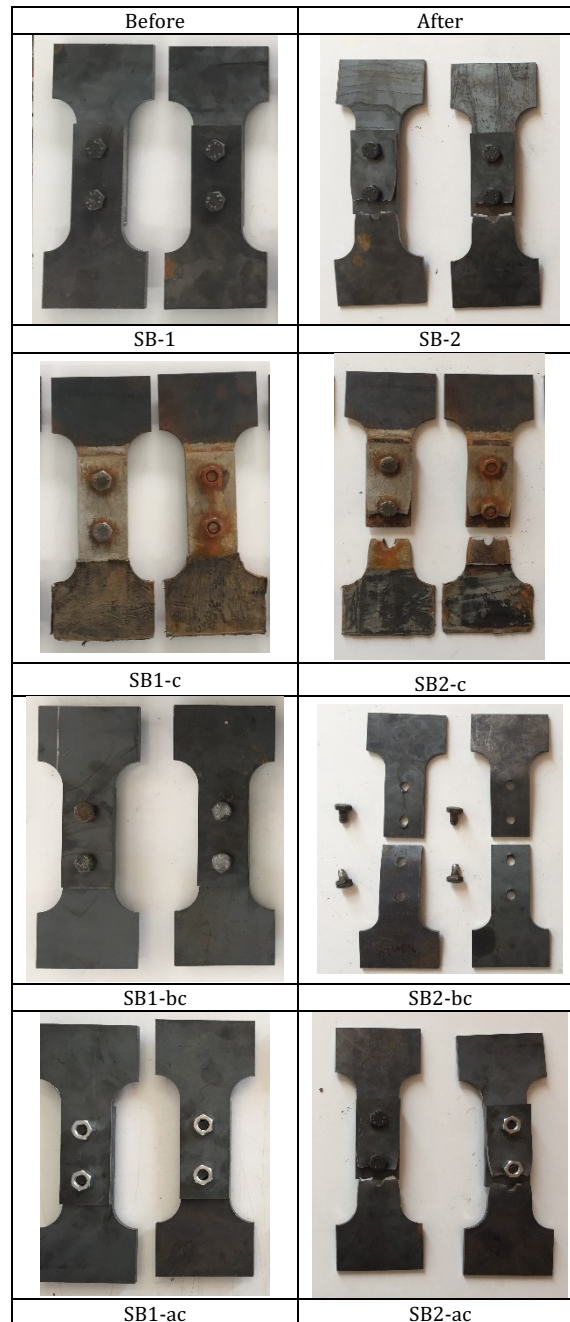


Figure 11. The pre-test and post-test appearances of test specimens

3. Comparison Of Test Results

When Table 2 is examined, it is seen that the greatest decrease in average yield stress and average maximum tensile stress is observed in the test specimens with accelerated corrosion applied on bolt and plate. In general, it is observed that there was a decrease in the average unit elongation values in the test specimens with corrosion applied compared to the reference corrosion-free specimens (Table 3).

Table 2. Comparison of average stresses

Specimen no	Yield stress F_y (MPa)	Average Yield Stress $F_{y,ave.}$ (MPa)	$F_{y,ave.}/F_{y,ave.ref.}$	Maximum Tensile Stress, F_m (MPa)	Average Maximum Tensile Stress $F_{m,ave.}$ (MPa)	$F_{m,ave.}/F_{m,ave.ref.}$
SB-1	189.51	183.68	1.00	272.59	269.54	1.00
SB-2	177.84			266.48		
SB1-c	181.94	177.87	0.96	254.36	252.84	0.94
SB2-c	173.81			251.31		
SB1-bc	193.01	196.10	1.07	260.59	272.80	1.01
SB2-bc	199.18			285.01		
SB1-ac	190.83	183.85	1.00	272.20	263.65	0.98
SB2-ac	176.86			255.11		

Table 3. Comparison of elongations

Specimen no	Yielding elongation ϵ_y (mm/mm)	Average Yielding elongation $\epsilon_{y,ave.}$ (mm/mm)	Fracture elongation ϵ_u (mm/mm)	Average Fracture elongation $\epsilon_{u,ave.}$ (mm/mm)	$\epsilon_{u,ave.}/\epsilon_{u,ave.ref.}$	Ductility ratio ϵ_u/ϵ_y
SB-1	0.02570	0.02474	0.16156	0.16886	1.00	6.82
SB-2	0.02377		0.17616			
SB1-c	0.02371	0.02361	0.15122	0.15696	0.93	6.64
SB2-c	0.02351		0.16269			
SB1-bc	0.03386	0.03364	0.11954	0.15787	0.93	4.69
SB2-bc	0.03342		0.19620			
SB1-ac	0.02937	0.03020	0.15989	0.15959	0.95	5.28
SB2-ac	0.03105		0.15928			

Table 4. Type of corrosion and fracture zones on the connections

Specimen	Corrosion type	Fracture zone
SB-1	-	Net section region of plate
SB-2	-	Net section region of plate
SB1-c	Uniform	Net section region of plate
SB2-c	Uniform	Net section region of plate
SB1-bc	Uniform	Sliding of bolt thread
SB2-bc	Uniform	Sliding of bolt thread
SB1-ac	Artificial	Net section region of plate
SB2-ac	Artificial	Net section region of plate

As a result of the tensile test, in case of the specimens with 10% corrosion by mass only on the bolt (SB1-bc and SB2-bc), scraping occurred between the nut and bolt since it was not fully clamped with the nut due to the fact the threads on the bolt were reduced after corrosion. In the other specimens, the fracture occurred in the area of the loss (net area) of the plate, as shown in Table 4. In the specimens with corrosion only on bolt (SB1-bc and SB2-bc), the average yield unit elongation was found to be 36% higher than the reference specimen due to the reduction of the diameters of the bolts as a result of corrosion and the larger space between the bolt holes and the bolt compared to the other specimens.

In the specimens with artificial corrosion on the bolt (SB1-ac and SB2-ac), the average yield unit elongation was obtained 22% higher. The reason for this is that the bolt was cut and the bolt moved in the direction of some tensile force inside the bolt hole. It was determined that the average yield unit elongation of the specimens with corrosion on both plate and bolt (SB1-c and SB2-c) was 5% lower than the reference sample. Compared to the corrosion-free specimens, the elongation at break decreased by 7% on average in the specimens with corrosion on both the plate and bolt and in the specimens with corrosion only on the bolt, and the elongation at break decreased by 5% on average in the specimens with artificial corrosion on the bolt.

As a result of the tensile tests, compared to the corrosion-free specimens, there was an average 1% increase in maximum tensile stresses in case of the specimens with corrosion on the bolt, an average of 6% decrease in the same in case of the specimens with corrosion on both the plate and bolt, and an average of 2% decrease in the same in case of the specimens with artificial corrosion on the bolt.

In addition, the tensile stress-strain diagrams obtained from the axial tensile tests for all test specimens are shown in Figure 12 comparatively. When the diagram in Figure 12 is examined, it is seen that there is not a big difference between the maximum tensile stresses and yield stresses. The difference between yield and rupture elongation is due to the larger gap between the bolt and the bolt hole as a result of corrosion formed on the bolt shank. In the specimens with corrosion on both the plate and bolt (SB1-c and SB2-c), the corrosion occurred only on the plate surface and the head and threaded part of the bolt, due to the absence of NaCl solution penetrating between the bolt hole and the bolt, and the yield and rupture elongation of the specimens were obtained close to the reference samples.

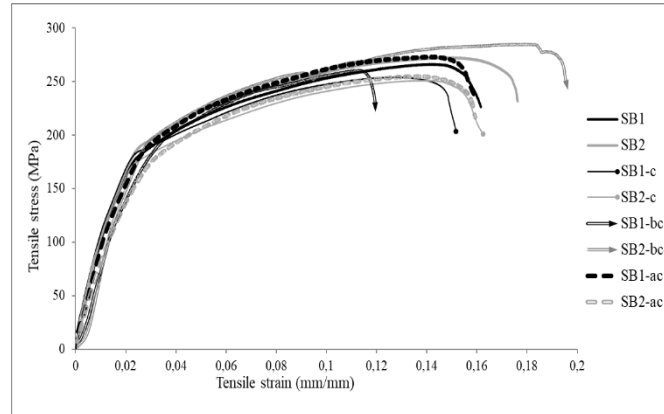


Figure 12. Comparison of the tensile stress-strain diagrams for all test specimens

4. Conclusion

Under the effect of environmental conditions, corrosion damage may occur within the body of steel structural members, and corrosion causes loss in metal mass. As the corrosion formation time increases, the mass loss in the material also increases, and the mechanical properties vary. Within the scope of this study, 10% corrosion damage by mass was formed on the bolted joint steel plate test specimens, and the test specimens were subjected to axial tensile test. As a result of the tests, it was observed that the bolt did not break for 10% corrosion amount on the plate joints, however scraping could occur due to the corrosion damage on the threads in the threaded part of the bolt. The test specimens with accelerated corrosion on the bolt and plate were the specimens whose strength decreased the most since the net area of the plate decreased as a result of corrosion. It was determined that the reduction in strength in the corroded specimens did not cause a decrease in proportion to the mass loss, due to the fact that corrosion creates chemical changes in the metal. As a result of corrosion, the rate of decrease in elongation at fracture of the elements is higher than the decrease in their strength. Therefore, for corroded specimens, the ductility rate of the elements decreased. The ductility ratio of the specimens exposed to artificial corrosion is higher than the other specimens.

Conflict of Interest Statement

The authors declare that there is no conflict of interest.

References

- [1] G. Qin, S. Xu, D. Yao and Z. Zhang "Study on the degradation of mechanical properties of corroded steel plates based on surface topography," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 125, pp. 205-217, October 2016. doi:10.1016/j.jcsr.2016.06.018
- [2] G. Yavuz, Y. Duysak and H. Arisoy, "Corrosion effect on structural behaviour of bolted steel connections under axial tension loads," *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, published online, May 2022. doi:10.1080/19648189.2022.2081262
- [3] B. Wu, J. Cao and L. Kang, "Influence of local corrosion on behavior of steel I beams subjected to end patch loading: Experiments," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 135, pp. 150-161, August 2017. doi:10.1016/j.jcsr.2017.04.020
- [4] S. Saad-Elden, Y. Garbatov and C. Soares, "Strength assessment of a severely corroded box girder subjected to bending moment," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 92, pp. 90-102, January 2014. doi:10.1016/j.jcsr.2013.09.010
- [5] J. Ahn, J. You, J. Huh, Y. Jeong and I. Kim, "Residual clamping force of bolt connections caused by sectional damage of nuts," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 136, pp. 204-214, September 2017. doi:10.1016/j.jcsr.2017.05.019

- [6] Z. Zhao, H. Zhang, L. Xian and H. Liu, "Tensile strength of Q345 steel with random pitting corrosion based on numerical analysis," *Thin-Walled Structures*, vol. 148, 106579, March 2020, doi:10.1016/j.tws.2019.106579
- [7] C. Zhang, H. Zhu and L. Zhu,, "Effect of interaction between corrosion and high temperature on mechanical properties of Q355 structural steel," *Construction and Building Materials*, vol. 271, 121605, February 2021. doi:10.1016/j.conbuildmat.2020.121605
- [8] C. Jiang, W. Xiong, C.S. Cai, Y. Zhu and J. Wang, "Preload loss of high-strength bolts in friction connections considering corrosion damage and fatigue loading," *Engineering Failure Analysis*, vol. 137, 106416, July 2022. doi:10.1016/j.engfailanal.2022.106416
- [9] I.T. Kim, Y.S. Jeong and D.K. Dao, "Evaluation of tensile strength of painted steel wi local corrosion at structural connections," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 177, 106449, February 2021. doi:10.1016/ j.jcsr.2020.106449
- [10] M. Koçer, M. Öztürk and A. Boğa, "Analytical Study on the Effect of Corrosion to the Construction Performance," *Natural and Engineering Sciences*, vol. 4, pp. 11-20, January 2019, doi:10.28978/nesciences.522364
- [11] ASM Handbook, Volume 13A. "Corrosion: Fundamentals, testing, and protection". ASM International, 2003.
- [12] Y. Duysak, 2019, "Investigation of corrosion effect on bolted and welded connections in steel structures" MSc thesis, Konya Technical University, Institute of Graduate Studies, Konya, Türkiye, 2019.

*Bu makale *International Conference on Engineering Technologies (ICENTE'22)* isimli konferansta sunulmuş bildirinin genişletilmiş halidir.

This is an open access article under the CC-BY license



GAZİ

JOURNAL OF ENGINEERING SCIENCES

Effect of Atmospheric Turbulence on Gaussian Beams

Kholoud Elmabruk^a, Gamze Nur Seçilmiş^b

Submitted: 25.05.2022 Revised: 05.12.2022 Accepted: 08.12.2022 doi:10.30855/gmbd.0705051

ABSTRACT

In this study, the effects of operating wavelength, source size and receiver aperture radius parameters on scintillation, which is the most important noise source of free-space optical communication systems, were analyzed by using the field expression of Gaussian beams propagating in the atmospheric turbulent environment. In order to model the atmosphere, the random phase screen model was used. In addition, the intensity profiles of Gaussian beams propagated at different distances were investigated in order to examine how the propagation distance affects the received intensity of the beam and the parameters that would contribute to the transmission of the information carried by this beam to long distances in the turbulent atmosphere were studied. The results show that Gaussian beams with large source size and operating at low wavelength, have low scintillation values while propagating in a turbulent atmosphere, and the beam preserves its original profile. The increase in the radius of the receiver aperture provides a decrease in the scintillation value, since more beams are detected in the system. It is foreseen that these results may be the starting point for free space optical communication system designs, which are an example of wireless optical communication systems and operate in turbulent atmosphere, and may contribute to the improvement of system performance.

Keywords: Gaussian beam, Random phase screen method, Turbulence, Optical Communication

^aSivas University of Science and Technology, Dept. of Electric Electronic Engineering 58000- Sivas, Türkiye
Orcid:0000-0002-8873-584X
e mail: elmabruk@sivas.edu.tr

^bSivas University of Science and Technology, Defense Technologies Program, 58000- Sivas, Türkiye
Orcid:0000-0003-0207-4516

*Corresponding author: elmabruk@sivas.edu.tr

Atmosferik Türbülansın Gauss Işının Üzerindeki Etkisi

ÖZ

Bu çalışmada atmosferik türbülans ortamında yayılan Gauss ışınlarının alıcı düzleme ulaşan alan ifadesi kullanılarak, çalışma dalga boyu, kaynak boyutu ve alıcı açıklığı yarıçap uzunluğu parametrelerinin, serbest alan optik haberleşme sistemlerinin en önemli gürültü kaynağı olan parıldama üzerinde etkileri analiz edilmiştir. Atmosferi modelleyebilmek için dalga optiğinde yar alan rastgele faz ekran modeli kullanılmıştır. Ayrıca yayılma mesafesinin ışının alıcı düzlem yoğunluğunu nasıl etkilediğini incelemek amacıyla farklı mesafelerde yayılan Gauss ışınlarının yoğunluk profilleri incelenmiştir ve türbülanslı atmosferde bu ışının taşıdığı bilginin uzak mesafelere iletilmesine katkı sağlayacak parametreler üzerinde çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar, türbülanslı bir atmosferde yayılan, büyük kaynak boyutuna ve düşük çalışma dalga boyuna sahip Gauss ışınlarının parıldama değerlerinin az olması, ışının orijinal profilini koruduğu sonucuna ulaştırmaktadır. Alıcı açıklığı yarıçapının artması, sistemde daha fazla ışının algılanmasını sağlamasından dolayı parıldama değerinde azalmayı sağlamaktadır. Bu sonuçların kablosuz optik haberleşme sistemlerinin bir örneği olan ve türbülanslı atmosferde çalışan serbest alan optik haberleşme sistem tasarımları için çıkış noktası olabileceği ve sistem performansını iyileştirilmesine katkı sağlayabileceği öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Gauss ışını, Rastgele faz ekran modeli, Türbülans, Optik iletişim

1. Giriş (Introduction)

Mevcut kablosuz radyo frekansı haberleşme sistemleri için alternatif ve tamamlayıcı bir teknoloji olarak ortaya çıkan serbest alan optik kablosuz haberleşme sistemleri, büyük bant genişliği ve daha yüksek veri hızları için artan taleplere çözüm olabileceği düşüncesiyle son zamanlarda oldukça ilgi görmektedir [1,2]. Askeri uygulamalarda, uzaktan algılama sistemlerinde, doğal felaket durumlarında, radyo astronomi uygulamaları gibi çeşitli uygulamalarda kullanılan serbest alan optik kablosuz haberleşme sistemleri, fiber ya da koaksiyel kablolu sistemlere göre büyük bant genişliği ve yüksek hızda veri iletimi sağlanmasının yanında network ekipmanlarına direkt bağlanabilme, düşük güç tüketimi, yüksek güvenilirlik olması bu haberleşmeyi daha da popüler hale getirmektedir [3,4].

Serbest alan optik haberleşme sistemlerinde veri iletimi için yayılma ortamı olarak atmosferin kullanılması, sistemin performansını ciddi derecede etkilemektedir. Atmosfer ortamında hareket eden optik ışınlar, atmosfer boyunca yağmur, kar, rüzgâr ve sis gibi hava koşullarına maruz kalarak sistem performansını olumsuz yönde etkileyen emilme, saçılma ve kırılma indisi dalgalanmalarından olumsuz etkilenmektedir [4,5]. Sıcaklık ve rüzgâr hızındaki ani değişim, atmosferin kırılma indisinde rastgele değişikliklere sebep olarak, serbest alan optik haberleşme sistemlerinin menziline ve alıcıda ışın yoğunluğunun azalmasına neden olarak sistem performansını önemli ölçüde sınırlandıran atmosferik türbülansa yol açmaktadır [6,7]. Sistem performansını tespit etmek amacıyla çeşitli atmosferik koşullar altında optik parıldama indisi araştırılmaktadır [8]. Araştırmacılar, optik haberleşme uygulamalarında türbülans kaynaklı olumsuzlukları en aza indirebilmek ve sistem performansını arttırabilmek için birçok çalışmalar yapmaktadır. Bu çalışmalar içerisinde en çok tercih edilen ışın çeşidi, ışın türlerinin çoğunluğunun genlik profillerinin çekirdeğini oluşturan, bir lazer kaynağı tarafından kolaylıkla sağlanabilen, iyi karakterize edilebilen ve üzerinde değişim yapmanın kolay olduğu Gauss ışınlarıdır [9].

Serbest alan optik iletişim sistemlerinde kullanılan ışınların, optik sistemler aracılığıyla yayılım özelliklerinin bilinmesi ve karakteristik parametrelerinin net bir şekilde tanımlanması, lazer kaynaklarının uygulamalarının başarısında önemli bir etkiye sahiptir. Bu yüzden araştırmacılar haberleşme sistemi performansını iyileştirmek adına kullanılan ışınlara etki eden parametreleri incelemektedir [9]. Literatürde, birçok farklı optik ışın türünün parıldama değeri üzerinde ışın parametrelerinin etkileri araştırılmış olmasına rağmen [3, 10] Gauss ışınlarının parıldama indisine bu parametrelerin etkisini ayrıntılı inceleyen çalışmalar yer almamaktadır. Bu çalışmada, atmosferik türbülans ortamında yayılan Gauss ışının parıldama değeri üzerinde, kaynak boyutu, dalga boyu ve alıcı açıklığı yarıçap uzunluğu gibi sistem parametrelerinin etkileri incelenmiştir. Ayrıca farklı yayılma mesafelerinde Gauss ışının alıcı düzlemdeki yoğunluğunun nasıl etkilendiği analiz edilmiştir.

2. Teorik Formülasyon (Theoretical Formulation)

Gauss ışınının, kaynak düzlemdeki modellenmesi silindirik koordinat sisteminde denklem 1'de verilmiştir [12].

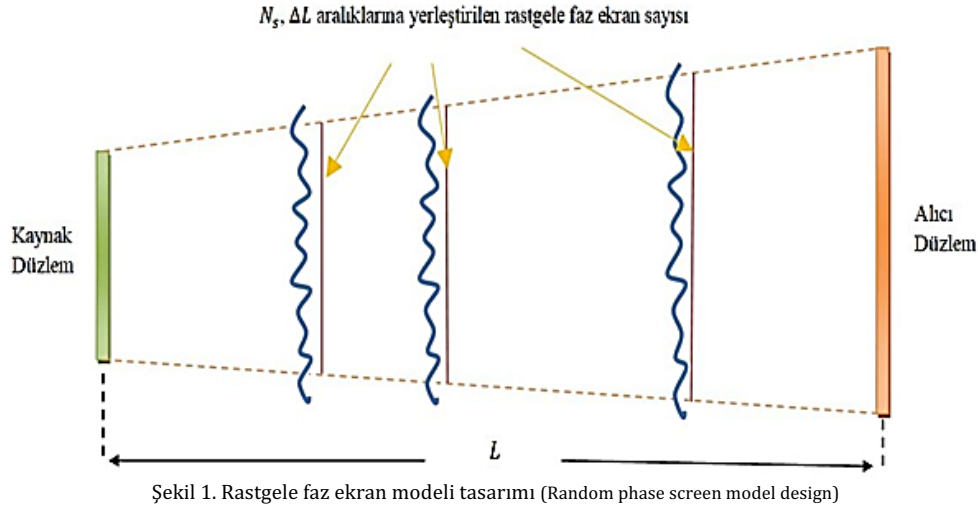
$$u_s(\mathbf{s}, \phi_s) = \exp\left(-\frac{s^2}{\alpha_s^2}\right) \quad (1)$$

Denklem 1'de yer alan (\mathbf{s}, ϕ_s) kaynak düzlem enine koordinatlarını, $u_s(\mathbf{s}, \phi_s)$ ışınların kaynak düzlem alanını, α_s kaynak boyutunu temsil etmektedir.

Rastgele ve homojen olmayan bir yapıya sahip olan atmosferik türbülansı modellemek analitik yaklaşımlar kullanılarak zor ve uzun formülasyonları çözmeyi gerektirmektedir. Birçok araştırmacı, bu durumu hafifletmek amacıyla rastgele faz ekran modelini geliştirmişlerdir. Bu metot, her ışın türüne rahatlıkla uygulanabilen, verici ve alıcı arasındaki mesafeyi Şekil 1' de gösterildiği gibi yeterli sayıda ince faz ekranlarıyla daha kısa aralıklara bölerek türbülanslı atmosferi modellemeyi amaçlamaktadır [10,11]. Bu ekranlar arasındaki mesafe, birikmiş türbülansın Rytov varyansını zayıf türbülans aralığında tutacak kadar kısa belirlenmelidir [12,13]. Atmosferin, Fourier dönüşümü ve rastgele faz ekran modelinin birleşimiyle modellenebildiği dalga optiği, atmosferik türbülans yoluyla optik ışının yayılımını modellemek içinde kullanılmaktadır [14].

Rastgele ortamda yayılan optik ışınların davranışı, ortamı nitel ve nicel olarak karakterize ederek

anlaşılmaktadır. Huygens-Fresnel integrali, türbülanslı ortamda ışın yayılımını karakterize etmek için en önemli modelleme türlerinden biridir [15]. L yayılma mesafesini alarak alıcı tarafa ulaşan ışın denklem 2'deki gibi modellenmektedir.



Rastgele ortamda yayılan optik ışınların davranışı, ortamı nitel ve nicel olarak karakterize ederek anlaşılmaktadır. Huygens-Fresnel integrali, türbülanslı ortamda ışın yayılımını karakterize etmek için en önemli modelleme türlerinden biridir [15]. L yayılma mesafesini alarak alıcı tarafa ulaşan ışın denklem 2'deki gibi modellenmektedir.

$$u_{rfs}(\mathbf{r}, L) = \frac{-jk}{2\pi L} \exp(jkL) \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} u_s(\mathbf{s}) \exp\left[\frac{jk}{2L}(\mathbf{r} - \mathbf{s})^2\right] d^2\mathbf{s} \quad (2)$$

$u_{rfs}(\mathbf{r}, L)$ türbülans olmayan ortamda yayılan ışınların alıcı düzlemdeki alanını, (\mathbf{r}) alıcı düzlemin enine koordinatın, $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ ise dalga numarasını ifade etmektedir. Denklem 2, iki boyutlu Fourier dönüşüm işlemine sahip olduğundan aşağıda verilen denklemde yeniden yazılmaktadır [15].

$$u_{rfs}(\mathbf{r}, L) = \mathbf{F}^{-1}[U_s(\mathbf{f})H(\mathbf{f})] \quad (3)$$

Denklem 3'te, \mathbf{F}^{-1} ters Fourier dönüşümünü, \mathbf{f} uzaysal frekansı temsil etmektedir. $H(\mathbf{f})$ ise transfer fonksiyonunu ifade eder ve denklem 4'teki gibi gösterilmektedir.

$$H(\mathbf{f}) = \exp\left[jL\left(k - \frac{2\pi^2}{k}|\mathbf{f}|^2\right)\right] \quad (4)$$

Kullanılan rastgele faz ekran modeli, yayılma mesafesinin ince faz ekran düzlemleriyle ayrılmış N_s aralıklarına $\Delta L = L/N_s$ bölünmesi yoluyla türbülansın etkisini temsil eder. Böylece n . düzlemdeki alıcı alanı denklem 5'teki gibi ifade edilmektedir [11, 15, 16].

$$u_r(\mathbf{r}, n\Delta L) = \mathbf{F}^{-1}[\mathbf{F}[u_s(\mathbf{r}, (n-1)\Delta L)\exp(j\phi(\mathbf{r}))]H(\mathbf{f})] \quad (5)$$

Burada $\phi(\mathbf{r})$ bireysel ekranların faz güç spektral yoğunluğunu, \mathbf{F} Fourier dönüşüm operatörünü belirtmektedir. Von-Karman spektrumunun güç spektral yoğunluğu denklem 6 ile ifade edilir [11, 12, 15].

$$\Phi_\phi(\mathbf{f}) = \frac{0.0036LC_n^2k^2L_0^{11/3}}{(L_0^2|\mathbf{f}|^2+1)^{11/6}} \exp[-1.1265l_0^2|\mathbf{f}|^2] \quad (6)$$

Denklem 6'da yer alan, L_0, l_0 türbülanslı ortamın sırasıyla dış ve iç ölçeklerini temsil etmektedir. Son olarak, ışının alıcı düzlem üzerindeki yoğunluğu, alıcı düzlemin kompleks eşleniği ile çarpılmasıyla denklem 7 'de gösterildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$\langle I_r(\mathbf{r}, L) \rangle = \frac{1}{N_r} \sum_{i=1}^{N_r} u_r(\mathbf{r}, L) u_r^*(\mathbf{r}, L) \quad (7)$$

Denklem 7'de, $\langle \rangle$ ifadesi ortalamayı belirtmektedir ve $I_r(\mathbf{r}, L)$ alıcı alan yoğunluğunu temsil etmektedir. $u_r(\mathbf{r}, L)$ bir dizi faz ekranından geçtikten sonra alıcıya ulaşan ışınların alıcı düzlem alanını ifade etmektedir. Denklem 7'deki pratikte türbülans seviyesine bağlı olan, üst ortalama limiti N_r , teorik olarak sonsuza yaklaşır ve güvenilir sonuçlar alabilmek için 500'e ayarlamak yeterli olmaktadır [11,15,16].

Serbest alan optik sistem haberleşmesinde, optik ışınların atmosfer boyunca yayılmasına etki eden kırılma indisindeki ani değişimlerin sebep olduğu parıldama sistem performansını büyük ölçüde etkilemektedir [2]. Bu durumdan dolayı sistem performansını tespit etmek amacıyla parıldama bilgisinden yararlanılmaktadır. Alıcı düzlemin belirli bir konumdaki parıldama indisi denklem 8'de verilmiştir [10,16].

$$b^2(\mathbf{r}, L) = \frac{\langle I_r^2(\mathbf{r}, L) \rangle}{\langle I_r(\mathbf{r}, L) \rangle^2} - 1 \quad (8)$$

$b^2(\mathbf{r}, L)$ parıldama indisini temsil etmektedir. Nokta benzeri parıldama (point-like scintillation) indisi denklem 8 aracılığıyla hesaplanır. Alıcı açıklık yarıçapının r_r , $(0,5\lambda L/\pi)^{0,5}$ ifadesinden büyük olduğu durumda, açıklık ortalamalı parıldama (aperture averaged scintillation or power scintillation) indisine geçiş yapılır ve denklem 9 ve 10'daki gibi ifade edilir [16].

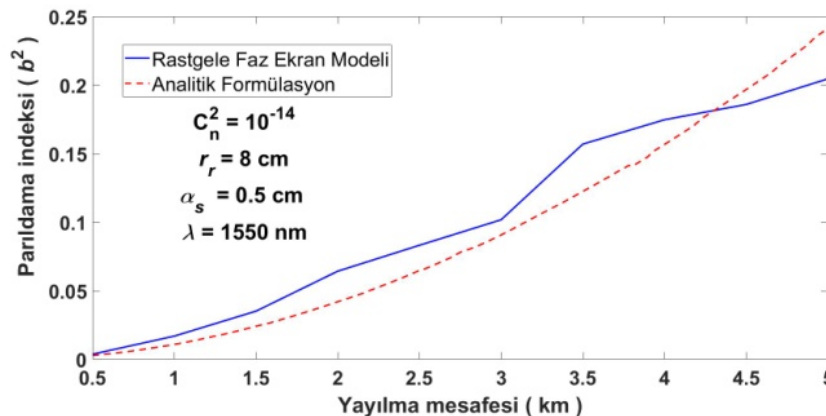
$$b^2(L) = \frac{\langle P_r^2(L) \rangle}{\langle P_r(L) \rangle^2} - 1 \quad (9)$$

$$P_r(L) = \int_{-0,5\sqrt{\pi}r_r}^{0,5\sqrt{\pi}r_r} \int_{-0,5\sqrt{\pi}r_r}^{0,5\sqrt{\pi}r_r} I_r(r_x, r_y, L) dr_x dr_y \quad (10)$$

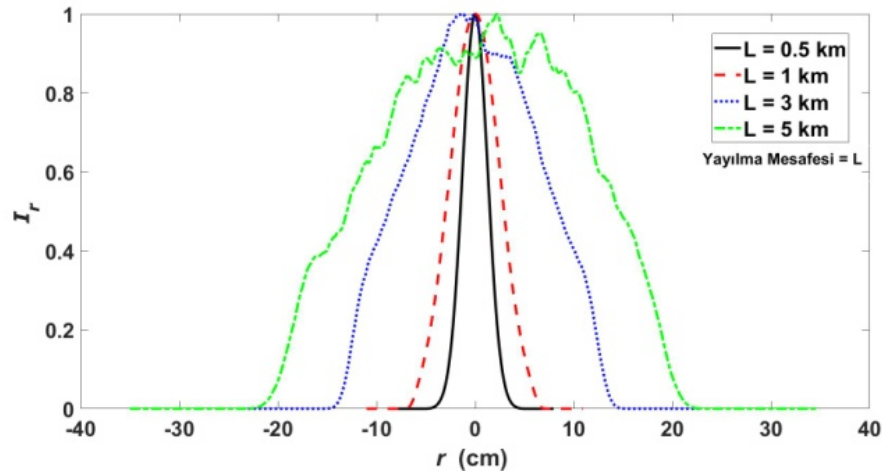
$P_r(L)$, dairesel açıklık yarıçapı uzunluğu r_r olan alıcı düzlemdeki ışının, anlık gücünü göstermektedir [16].

3. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

Güvenilir ve doğru sonuçlar elde edebilmek için yapılan çalışmalarda belirtilen kısıtlamalara göre rastgele faz ekran modeli kullanılmıştır [13, 17]. Kullanılan rastgele faz ekran modelinin sonucu, Ref 19'un analitik formülasyonuna karşı test edilmiştir ve sonuçlar Şekil 2'de gösterilmiştir. Kaynak ile alıcı düzlem arası 512×512 ızgara boyutu, 30 adet rastgele ara faz ekranına bölünmüştür. Sonuçlar, eğrilerin genel eğilimlerini ortaya çıkarmak için yeterli olduğu düşünülen 500 gerçekleştirme sayısı kullanılarak elde edilen grafiklerde sunulmuştur. Von-Karman spektrumu iç ölçeği ve dış ölçeği sırasıyla sıfıra ve sonsuza ayarlanmıştır. Işının içerdiği yaklaşık olarak tüm gücün uyumunu sağlamak için kaynak düzlem boyutlarını $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ olarak seçilmiştir. 0.5 cm kaynak boyutuna, 1550 nm çalışma dalga boyuna sahip, kırılma indisi yapı sabiti $10^{-14} \text{ m}^{-2/3}$ olduğu parametreler dahilinde yapılan karşılaştırma sonucunda birbirine yakın eğriler elde edilmiştir. Bu sonuç kullanılan rastgele faz ekran modelinin doğruluğunu ispat etmektedir.

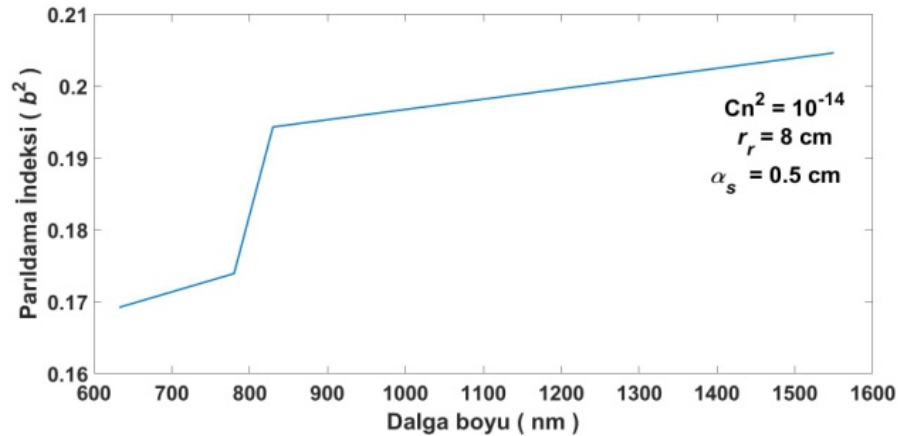


Şekil 2. Rastgele faz ekran modeli ve analitik formülasyon ile Gauss ışının parıldama değeri (Scintillation value of Gaussian beam using random phase screen method and analytical formulation)



Şekil 3. Atmosfer boyunca yayılan Gauss ışınların farklı yayılma mesafesinde ortalama yoğunluk grafikleri (Average intensity of Gaussian beam propagating in turbulence at different propagation distances (L))

Şekil 3’de, 1550 nm çalışma dalga boyuna, 8 cm alıcı açıklık yarıçap uzunluğuna ve 0.5 cm kaynak boyutuna sahip Gauss ışınlarının 0.5, 1, 3 ve 5 km yayılma mesafesinde alıcı düzlemdaki normalize edilmiş yoğunluk değerinin iki boyutlu hali yer almaktadır. Bu grafiğe göre, artan yayılma mesafesiyle, optik ışının daha çok genişlediği, orijinal profilinin bozulduğu sonucuna ulaşılmaktadır [18]. Serbest alan optik sistem haberleşmesinde iletim ortamının mesafesi arttığında, optik ışın türbülanslı atmosferden ve diğer ışın parametrelerinden daha fazla etkilendiği için sistem performansı olumsuz etkilenmektedir.



Şekil 4. Dalga boyunun Gauss ışınların parıldama indisine etkisi (Scintillation variation of Gaussian beam with different operating wavelengths)

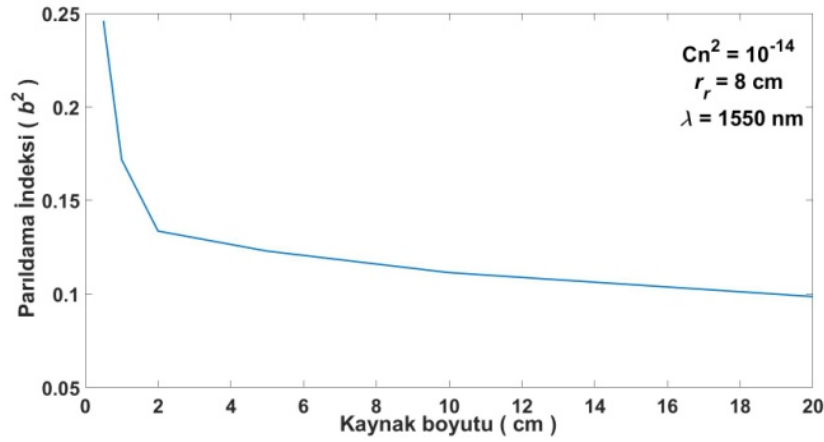
Şekil 4’te, haberleşme sistemleri için büyük öneme sahip çalışma dalga boyunun atmosferik türbülansla yayılan Gauss ışınlarının parıldama değeri üzerinde etkileri incelenmiştir. 0.5 cm kaynak boyutuna ve 8 cm alıcı açıklık yarıçap uzunluğuna sahip Gauss ışının parıldama değeri 5 km yayılma mesafesi dahilinde hesaplanmıştır. Dalga boyu arttıkça Gauss ışınların parıldama seviyelerinde artış olduğu Şekil 3’te gözlemlenmektedir. Bu sonuca sebep olan durum, türbülansın etkilerinden daha çok ışının kırınım etkileridir [3].

Türbülanslı bir ortamda yayılan optik ışınların parıldama değerini etkileyen bir diğer parametre ışının kaynak boyutudur. 5 km yayılma mesafesinde, 1550 nm çalışma dalga boyuna, 8 cm alıcı açıklık yarıçap uzunluğuna sahip Gauss ışınlarının parıldama değerini içeren grafik Şekil 5’te yer almaktadır.

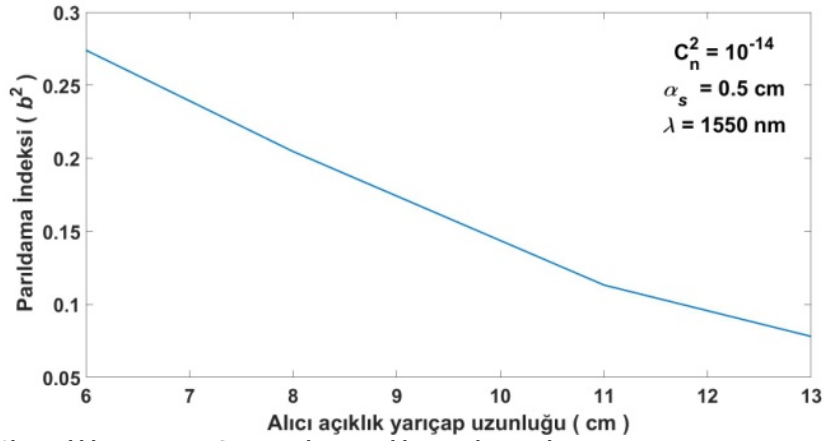
Elde edilen grafiğe göre, artan kaynak boyutuna göre, parıldama değerinin azalması, güçlü türbülanslı ortamda yayılan Gauss ışınların daha az bozulmaya uğrayarak alıcı düzlemda bu ışınların orijinal profillerine yakın elde edildikleri sonucuna ulaşmaktayız [15].

Şekil 6’te, 1550 nm çalışma dalga boyuna, 0,5 cm kaynak boyutuna sahip Gauss ışının parıldama

indisinin alıcı açıklık yarıçap uzunluğuna göre nasıl değiştiği incelenmektedir. Elde edilen sonuca göre, alıcı açıklığı yarıçap uzunluğunun artırılmasıyla alıcının daha fazla dolaşan yükü algılaması sağlanacağından, parıldama değerinde bir azalış gözlemlenmektedir [3,15].



Şekil 5. Kaynak boyutunun Gauss ışınların parıldama indisine etkisi (Scintillation variation of Gaussian beam with different source sizes)



Şekil 6. Alıcı açıklık yarıçapının Gauss ışınların parıldama indisine etkisi (Scintillation variation of Gaussian beam with different receiver aperture radius)

Şekil 6'te, 1550 nm çalışma dalga boyuna, 0,5 cm kaynak boyutuna sahip Gauss ışının parıldama indisinin alıcı açıklık yarıçap uzunluğuna göre nasıl değiştiği incelenmektedir. Elde edilen sonuca göre, alıcı açıklığı yarıçap uzunluğunun artırılmasıyla alıcının daha fazla dolaşan yükü algılaması sağlanacağından, parıldama değerinde bir azalış gözlemlenmektedir [3,15].

4. Değerlendirme (Conclusion)

Bu çalışmada, atmosferik türbülans ortamında yayılan Gauss ışınlarının sistem parametrelerinin parıldama üzerindeki etkileri rastgele faz ekran metodu kullanılarak incelenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, güçlü türbülans atmosfer ortamında ve büyük alıcı açıklığa sahip sistemlerde, Gauss ışınlarının kaynak boyutu arttıkça daha az bozulmaya uğrayarak orijinal profillerini koruyabildikleri görülmüştür. Ayrıca güçlü türbülans ortamında, artan yayılma mesafesine bağlı olarak optik ışın daha fazla bozulmaya uğramaktadır ve sistem performansı olumsuz olarak etkilenmektedir. Sonuç olarak optik sistem haberleşme sistemlerinin performansını artırmak için alıcı düzlem üzerinde algılanan optik ışının güç miktarının artırılması veya parıldama seviyesinin düşürülmesi gerekmektedir. Bu nedenle, bu çalışma dahilinde haberleşme sistemleri tasarlanırken hangi ışın parametrelerinin hangi sayısal değerlerde daha iyi performans sağladığı sonucuna ulaşılması, serbest alan optik sistem haberleşmesi uygulamaları için büyük önem arz etmektedir.

Çıkar Çatışması Beyanı (Conflict of Interest Statement)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması bildirilmemiştir.

Kaynaklar (References)

- [1] H. Kaushal, V. K. Jain and S. Kar, *Overview of wireless optical communication systems, In Free space optical communication*, Springer, New Delhi, pp. 1-39, 2017.
- [2] A. Mansour, R. Mesleh, and M. Abaza, "New challenges in wireless and free space optical communications," *Optics and lasers in engineering*, vol. 89, pp. 95-108, 2017, doi:10.1016/j.optlaseng.2016.03.027
- [3] H. T. Eyyuboğlu, "Scintillation behaviour of vortex beams in strong turbulence region," *Journal of Modern Optics*, vol. 63, pp. 2374-2381, 2016, doi:10.1080/09500340.2016.1203465
- [4] P. Pinho, Ed., *Optical Communication Technology: Challenges and Opportunities of Optical Wireless Communication Technologies. Rijeka*: InTechOpen, 2017.
- [5] M. C. Naboulsi, H. Sizon, and F. de Fornel, "Fog attenuation prediction for optical and infrared waves," *Optical Engineering*, vol. 43, no. 2, pp. 319-329, 2004. doi:10.1117/1.1637611
- [6] J. C. Ricklin and F. M. Davidson, "Atmospheric turbulence effects on a partially coherent Gaussian beam: implications for free-space laser communication," *JOSA A*, vol. 19, no. 9, pp. 1794-1802, 2002, doi:10.1364/JOSAA.19.001794
- [7] A.N. Kolmogorov, "The local structure of turbulence in an incompressible viscous fluid for very large Reynolds numbers," *Proceedings of the Royal Society of London. Series A: Mathematical and Physical Sciences*, vol. 434, no. 1890, pp. 9-13, 1991, doi:10.1098/rspa.1991.0075
- [8] L. C. Andrews, R. L. Phillips, C. Y. Hopenand, M. A. Al-Habash, "Theory of optical scintillation," *JOSA A*, vol. 16, no. 6, pp. 1417-1429, 1999, doi:10.1364/JOSAA.16.001417
- [9] J. Alda, Ed., *Optical Communication Technology: Laser and Gaussian Beam Propagation and Transformation*, 2003, (Editor).
- [10] L. C. Andrews, M. A. Al-Habash, C. Y. Hopen and R. L. Phillips, "Theory of optical scintillation: Gaussian-beam wave model," *Waves in Random Media*, vol. 11, no. 3, 2001.
- [11] H. T. Eyyuboğlu, D. Voelz and X. Xiao, "Scintillation analysis of truncated Bessel beams via numerical turbulence propagation simulation," *Applied optics*, vol. 52, no. 33, pp. 8032-8039, 2013, doi:10.1364/AO.52.008032
- [12] A. Ijaz, L. Zhang, M. Grau, A. Mohamed, S. Vural, A. U. Quddus, M. A. Imran, C. H. Foh and R. Tafazolli, "Enabling massive IoT in 5G and beyond systems: phy radio frame design considerations," *IEEE Access*, vol. 4, pp. 3322-3339, 2016, doi:10.1109/ACCESS.2016.2584178
- [13] J. D. Schmidt, *Numerical simulation of optical wave propagation with examples in MATLAB*, Washington: SPIE Press, DC, Chapters 7, 8 and 9, 2010.
- [14] M. Bayraktar, "Comparison of probability of error performance for truncated Bessel and Bessel Gauss Beams," M.Sc. thesis, Çankaya Univ., Ankara, Turkey, 2015.
- [15] H. T. Eyyuboğlu, "Scintillation analysis of hypergeometric Gaussian beam via phase screen method," *Optics communications*, vol. 309, pp. 103-107, 2013, doi:10.1016/j.optcom.2013.07.024
- [16] K. Elmabruk and H. T. Eyyuboglu, "Analysis of flat-topped Gaussian vortex beam scintillation properties in atmospheric turbulence," *Optical Engineering*, vol. 58, no. 6, 2019, doi:10.1117/1.OE.58.6.066115
- [17] R. Rao, "Statistics of the fractal structure and phase singularity of a plane light wave propagation in atmospheric turbulence," *Appl. Opt*, vol. 47, pp. 269-276, 2008, doi:10.1364/AO.47.000269
- [18] E. Jera, and A. Mohamed, "Gaussian Beam Propagation Through Turbulent Atmosphere using Second-Order Split-Step Algorithm," in *Proc. of the 2019 IEEE National Aerospace and Electronics Conference, IEEE, July 2019*.
- [19] H. T. Eyyuboğlu, "Aperture averaged scintillation of fully and partially coherent Gaussian, annular Gaussian, flat topped and dark hollow beams," *Opt. Commun*, vol. 339, pp. 141-147, 2015, doi:10.1016/j.optcom.2014.11.070

This is an open access article under the CC-BY license



GAZİ

JOURNAL OF ENGINEERING SCIENCES

Analysis of High-Performance Advanced Polymers Reinforced with Glass Fiber

Hasan Oktem^a, Halit Karasungur^b, Ahmet Eroğlu^{*c}

Submitted: 16.01.2023 Revised: 24.03.2023 Accepted: 29.03.2023 doi:10.30855/gmbd.0705052

ABSTRACT

Rapid advancements in the automotive and electronics industries have required the adoption of high-performance engineering polymers with better strength and less weight. The current research compared and evaluated the mechanical behavior, volumetric shrinkage, and rheological properties of two high performance engineering polymers, 40% glass fiber reinforced and 30% glass fiber reinforced. Tensile rods and rectangular bar-type specimens were injected, under three process conditions, respectively. The values of tensile strength, strain (%), impact strength, volumetric shrinkage, melt flow index and density were obtained from the injection tests. The results exposed that the mechanical properties of 40 % glass fiber reinforced PPS polymer is superior than those of 30% glass fiber reinforced PEI polymer as a result of amount of glass fiber. Furthermore, due to the semi-crystalline form of the PPS polymer, the highest dimensional stability related with shrinkage has been obtained. Finally, this study has proven that glass fiber added high performance advanced polymers display great potential in engineering applications, and may provide a good potential for the development and application of electronics and automotive. Tensile stress values for PPS increased rapidly up to 1.50 % strain and then remained constant until 2.211%.

Cam Elyaf ile Güçlendirilmiş Yüksek Performanslı İleri Polimerlerin Analizi

ÖZ

Otomotiv ve elektronik endüstrilerindeki hızlı gelişmeler, daha iyi mukavemet ve daha az ağırlık ile yüksek performanslı mühendislik polimerlerinin benimsenmesini gerektirmiştir. Mevcut araştırma, %40 cam elyaf takviyeli ve %30 cam elyaf takviyeli iki yüksek performanslı mühendislik polimerinin mekanik davranışını, hacimsel büzülmesini ve reolojik özelliklerini karşılaştırdı ve değerlendirdi. Çekme çubukları ve dikdörtgen çubuk tipi numuneler sırasıyla üç işlem koşulu altında enjekte edildi. Enjeksiyon testlerinden çekme mukavemeti, gerinim (%), darbe mukavemeti, hacimsel büzülme, eriyik akış indeksi ve yoğunluk değerleri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, %40 cam elyaf takviyeli PPS polimerinin mekanik özelliklerinin, cam elyaf miktarının bir sonucu olarak %30 cam elyaf takviyeli PEI polimerinden daha üstün olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca PPS polimerinin yarı kristal yapısından dolayı büzülme ile ilgili en yüksek boyutsal kararlılık elde edilmiştir. Son olarak, bu çalışma, cam elyafı katkılı yüksek performanslı ileri polimerlerin mühendislik uygulamalarında büyük bir potansiyel sergilediğini ve elektronik ve otomotivin geliştirilmesi ve uygulanması için iyi bir potansiyel sağlayabileceğini kanıtlamıştır. PPS için çekme gerilimi değerleri, %1.50 gerinime kadar hızla artmış ve ardından %2.211'e kadar sabit kalmıştır.

Keywords: Glass fiber, injection tests, mechanical behavior, shrinkage, rheological characteristic

^a Kocaeli University, Hereke Asım Kocabıyık, Dept. of Machine and Metal Technology, Polymer Science and Technology 41800 - Kocaeli, Türkiye
Orcid: 0000-0003-2526-8364

^b Güneş Plastic Trade Company, Gebze OSB, Dept. of Polymer Science and Technology Kocaeli, Türkiye
Orcid: 0000-0002-3331-8299

^{c*} Güneş Plastic Trade Company, Gebze OSB, Mechanical Engineer Kocaeli, Türkiye.
Orcid: 0000-0002-4124-1420
e-mail: hoktem@kocaeli.edu.tr

*Corresponding author: aahmeteeroglu@gmail.com

Anahtar Kelimeler: Cam fiber, enjeksiyon testleri, mekanik davranış, hacimsel çekme, reolojik karakteristik

1. INTRODUCTION

Advances in materials science have illustrated an important role in the production of polymer materials with properties such as high strength, low weight and ability to operate at high temperatures in critical regions [1, 2]. These polymers exhibit properties such as high strength, rigidity, high hardness, resistance to extreme chemicals, good thermal resistance, excellent chemical resistance and superior bending strength [3]. Due to the difficulty in forming high-performance advanced engineering polymers, a good polymer melting system, screw geometry providing a comfortable filling, and a well-designed cooling system are required [4]. The mold shrinkage of injection molding polymers is influenced by part wall thickness, runner type and dimensions, mold temperature, melt temperature, and injection pressure. These conditions affect to learn how and why the injection molding polymers shrink. There are very few studies in the literature on high-performance advanced polymers and there has not been enough research on the problems encountered in the industry. Especially, many studies have been carried out on mechanical, tribological, dimensional and melt flow characteristics on general purpose and engineering polymers [5, 6]. Some researchers have injected tensile rod and rectangular bar in plastic injection process with general purpose polymers such as Polypropylene under different process conditions. In their study, they investigated the mechanical, dimensional and flow properties of the injected plastic specimens. As a result, they stated that the injection conditions had an effect on all properties [7]. In other study, researchers have worked on determining the plastic injection process conditions in bottle production with Polyethylene Terephthalate (PET) type polymer. In this current study, the effect of injection process conditions on the volumetric shrinkage values in the direction parallel and perpendicular to the flow were investigated. From the research, they explained that the most effective process condition on volumetric shrinkage is the melt temperature [8]. Similarly, in another study, volumetric shrinkage and warpage of optical lenses in plastic injection process using Polymethyl Methacrylate (PMMA) polymer were investigated. They introduced that the packing pressure is an important factor on the dimensional quality of the process parameters [9].

Higher strength and stiffness at elevated temperatures is obtained with glass or carbon fiber reinforcement. Numerous studies have been conducted on glass fiber reinforced general and engineering polymers. In these studies, mechanical properties such as strength and toughness of general purpose polymers were investigated by adding 10%, 20%, 30% and 40% glass fiber reinforcement [10]. In other study, hybrid composites were developed with the reinforcement of both glass fiber and carbon fiber. In studies, it has been explained that glass fiber and carbon fiber reinforcement increase tensile, bending and impact strength and decrease toughness [11-12]. As a different approach, they produced new materials in plastic injection method by mixing recycled PET fibers and original PET fibers. The mechanical and flow properties of the obtained polymer materials were evaluated. As a result, it was concluded that both reinforcement materials provided positive improvements [13]. In particular, high performance advanced engineering polymers such as PPS (Polypropylene Sulfide) and Polyetherimide (PEI) gain many advantages. Because of its high strength, low weight ratio, rigidity, thermal resistance, dimensional stability and good tribological properties, it has started to find rapid use in the fields of space, automobile, electronics and sports. A group of researchers investigated that the mechanical and tribological properties of polymer materials such as PA (Polyamide-PA), PPS and PPS/PA powder-granule mixture [14]. In similar study, researchers reported that it is important to show the effect of carbon fiber reinforcement on the mechanical behavior of PEEK (Polyether ether Ketone) polymer [15]. In the study, it has developed a composite material with PPS polymer matrix reinforced with e-glass. They claimed that as the glass reinforcement ratio increased, there was a visible increase in the mechanical, thermal and electrical properties of the developed composite [16]. Unlike the previously mentioned publications, the influence of cooling rate on PPS polymer and carbon fiber reinforced PPS polymer was investigated. From this research, the high crystallization caused by the slow cooling rate increased the modulus of elasticity and yield stress but the strength and toughness decreased [17].

In the mentioned studies are examined, it has been determined that there are some important points in the literature that are missing and waiting for a solution. For this reason, the purposed study has been carried out in order to both close the gap in the literature and support the developments in the industry. In particular, plastic injection tests were carried out by selecting two very important polymer materials such as PPS and PEI. Further, results have been obtained regarding the most outstanding properties of these polymers. At the end of the current study, the advantages and disadvantages of both polymers of PPS with 40 % glass fiber and PEI with 30 % glass fiber were compared and reliable results

were obtained.

2. Material and Method

2.1 Plastic injection tests

In this study, using three process of two different high performance engineering polymers (PPS and PEI), a total of 18 tests were performed to the three-level orthogonal Taguchi design [19]. In the injection tests, the tensile strength, impact toughness, shrinkage, melt flow index and density were determined by using injection conditions such as melt temperature, injection pressure and runners (Table 1-2). In this study, three parameters are most effective parameters on mechanical, dimensional and rheological properties were selected from plastic manufacturer catalogue.

Table 1. Experiments plan for PPS polymer

Process Conditions	I. level	II. level	III. level
Melt temperature (°C)	320	330	340
Injection pressure(Bar)	80	100	120
Runners (A-B-C)	1	2	3

Table 2. Experiments plan for PEI polymer

Process Conditions	I. level	II. level	III. level
Melt temperature (°C)	350	360	370
Injection pressure(Bar)	80	100	120
Runners (A-B-C)	1	2	3

2.2. Experimental procedure

In this study, PPS and PEI polymers were used to realize ENGEL-Factory injection machine. PPS and PEI polymers were tested in condition of the injection time 3 s, packing time is 6 s, cooling time is 10 s, mold open-close time and total cycle time is 20 s. The injection machine specifications are given in Table 3. Plastic mold in situ are shown in Fig.1 and plastic samples are displayed in Figure 2 and 3.

Table 3. Injection machine specifications

Setups	Value
Max injection pressure	140 bar
Max clamp force	60 t
Max screw stroke	100 mm
Screw diameter	30 mm
Max injection flow	85 cm ³ /s

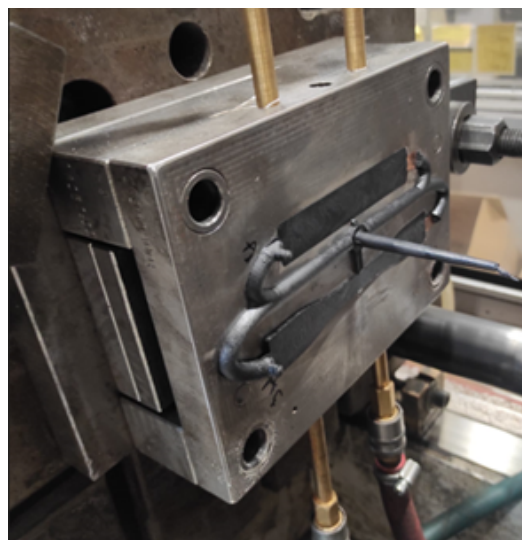


Figure 1. The finished of Plastic molds for plastic specimens



Figure 2. Tensile test specimens for PPS

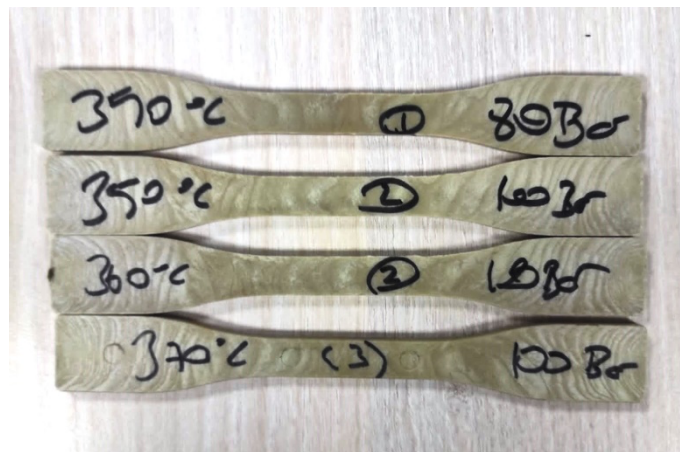
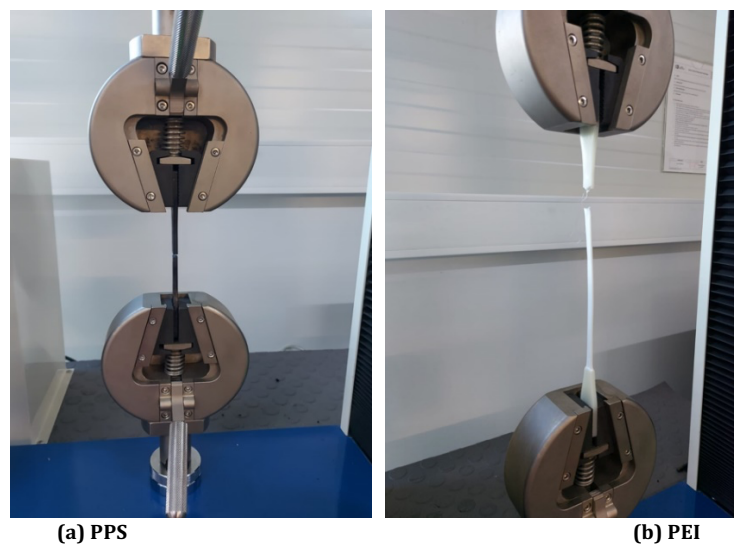


Figure 3. Tensile test specimens for PEI

3. Testing and Measurement Methods

Total of 18 tensile tests were conducted to obtain the values of tensile strength (MPa) and strain (%) in accordance with ASTM D-638 [20]. The testing speed was 100 mm/min at least three times 3 specimens were tested in a MACRONA model instrument as shown in Figure 4.



(a) PPS

(b) PEI

Figure 4. The tensile tests of polymers

Izod impact tests (totally 18) of PPS and PEI specimens were carried out to collect the values of impact strength (KJ/m²) accordance with ASTM D-256 [26]. The izod notched (V) method in impact tests were performed by using an INSTRON instrument Ceast 9050 model as shown in Figure 5. Hammer energy of 5.5 J was used and the striking velocity was 3.80 m/s. For the specimens, notch izod impact test was made using a motion cutting machine.



Figure 5. The tensile tests of polymers

Dimensional measurements were performed to obtain the values of shrinkage (%) in flow and transverse directions in accordance with ASTM D-638 [21]. The bar specimens of PPS and PEI polymers were measured by the digital caliper with accuracy of 0.01 at least three times as shown in Figure 6.

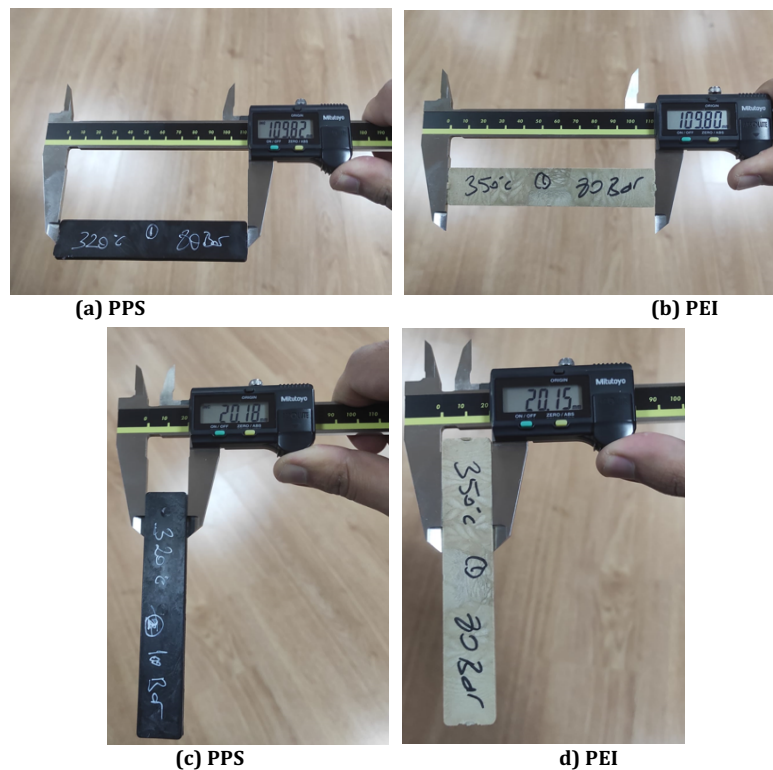


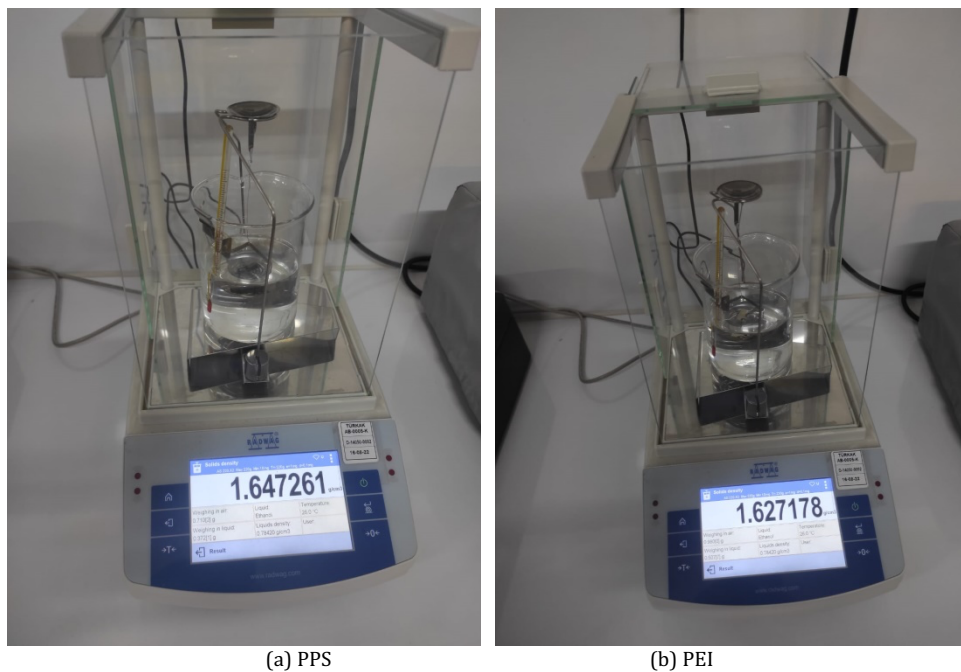
Figure 6. Measurement of shrinkage calculations in flow and transverse

Melt flow index test accordance with ASTM 1238-D [22] was carried out in an INPROS model instrument in Figure 7. Test conditions are 5 kg of mass, of displacement of 30 mm, temperatures of 310 °C, 240 °C and 345 °C for polymers of PPS and PEI, respectively.



Figure 7. Melt flow index test of polymers

In order to determine the solid density of polymer materials of PPS and PEI, a series of measurements were carried out using a RADWAG brand AS 220 X 2 model devices with 0.2 mg sensitivity. Density measurements applied to the polymers are shown in Figure 8, respectively.



(a) PPS

(b) PEI

Figure 8. Measurement of solid density for PPS and PEI

4. Results and Discussion

In this section, the experimental results obtained from tensile test, impact test, volumetric shrinkage, melt flow analysis and density measurements of PPS and PEI polymer specimens, discussions and their relation with the literature are discussed.

Figures 9 and 10 show the Force (N)-Elongation (mm) graphs of both polymers during the tensile test. As seen from Figure 9, it can be seen that the PPS polymer exhibits a rapid elongation (3.4 mm) behavior up to a load of 3400 N, and then falls rapidly after this point. From Figure 10, it can be seen that the PEI polymer exhibits a rapid elongation (5 mm) up to 2400 N load, and it decreases rapidly after this point. Comparing both polymers, PPS has tighter bonds, carrying higher load and showing less strain, while PEI has weaker bonds, causing it to carry less load and show more strain [3, 23].

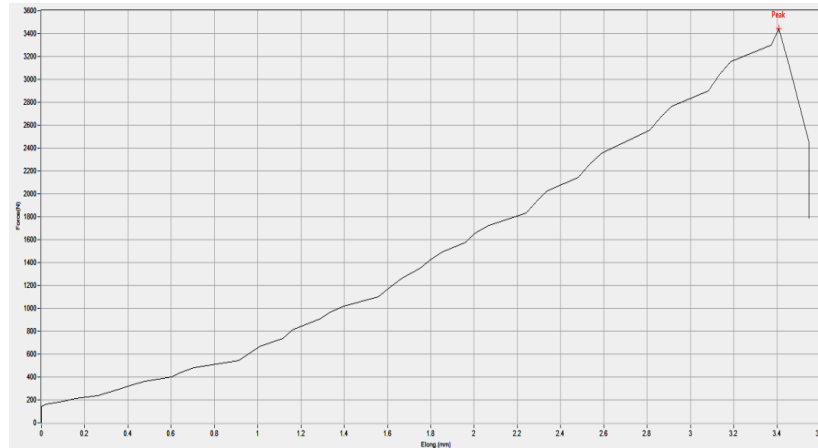


Figure 9. Tensile test of PPS (Force in X axis-elongation in Y axis)

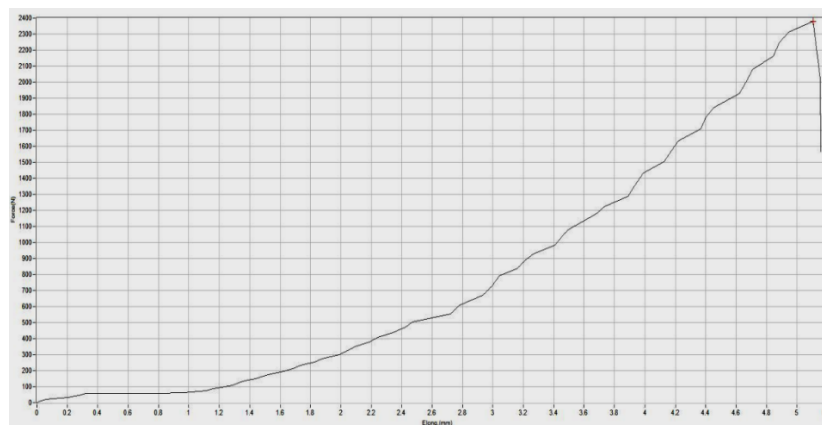


Figure 10. Tensile test of PEI (Force in X axis-elongation in Y axis)

Figure 11 indicates the variation of stress-strain of PPS and PEI polymer. From Figure 11, it can be observed that the tensile stress increases with increasing strain values for both two polymers. Tensile stress values for PPS increased rapidly up to 1.50 % strain and then remained constant until 2.211%. After this point, it continued steadily with a slight increase. As a result, the PPS polymer broke when the tensile stress was 180 MPa and the strain was 3.66 %. On the other hand, the tensile stress of PEI increased rapidly up to a strain of 3.33 % and then continued at a strain of 4.413% with small increases-decreases. From this point, PEI polymer broke at tensile stress of 60 MPa and the strain of 4.33 %. Comparing both polymers, it is seen that PPS material exhibits better mechanical properties than PEI. This is why, better interfacial bonding between fiber and matrix in PPS polymer, better tensile properties of PPS [3, 4, 24]. Figure 12 shows a tensile strength-strain graph obtained from a single injection condition both for PPS and PEI among nine injection conditions in Table 1 and 2.

The most effective method to determine the impact toughness of a polymer material is to perform impact notch testing. Table 4 indicates the impact strength values and the differences between those for polymer materials measured from the V-notched izod impact test. From Table 4, it can be seen that the impact strength values of the PPS polymer are generally higher than the values of the PEI polymer. As seen from Table 4, it has been determined that the most important injection condition affecting the change in impact strength for both PPS and PEI polymer materials is the runner type. The highest impact strength value is 14.88 KJ/m², while the smallest impact strength value is 7.28 KJ/m² [18]. Since the glass fiber additive ratio in each polymer material is close to each other, great differences in impact resistance values were not observed [18].

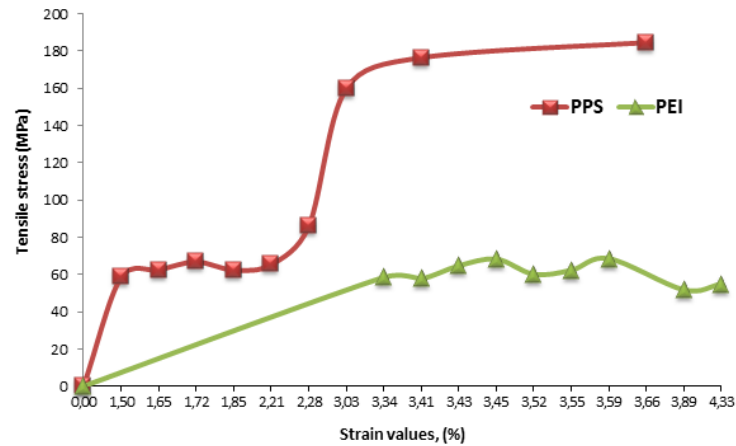


Figure 11. Tensile stress-strain curves for PPS and PEI

Table 4. Impact Strength values of PPS and PEI

<i>Polymer materials</i>			
	PPS	PEI	<i>Differences</i>
Impact Strength (Izod Notched) (KJ/m ²)	11.55	10.94	0.62
	10.96	10.71	0.25
	14.88	10.02	4.86
	11.69	9.89	1.80
	9.89	12.64	2.75
	11.63	12.02	0.39
	11.17	10.82	0.35
	9.24	7.28	1.96
	9.60	11.8	2.20

Table 5. Shrinkage results for PPS and PEI

<i>Polymer materials</i>	Shrinkage (%) (flow direction)	Shrinkage (%) (transverse)	Melt flow index (cm³/10min)
PPS	0.164	1.00	30.6
	0.191	0.90	
	0.364	0.40	
	0.318	0.65	
	0.182	0.90	
	0.245	1.05	
	0.201	0.85	
	0.382	0.35	
	0.218	0.95	
	PEI	0.182	
0.255		0.60	
0.345		0.55	
0.373		0.50	
0.100		0.95	
0.218		0.60	
0.236		0.50	
0.391		0.65	
0.200		0.80	

Dimensional change can be determined with the volumetric shrinkage. Table 5 gives the values of shrinkage at directions of melt flow, transverse and depth for PPS and PEI polymers. In Table 5, it can be seen that the lowest shrinkage values for both PPS and PEI are obtained in the flow direction whereas the highest values are measured in transverse direction for PPS. The amount of crystallinity of polymer materials affects the shrinkage indirectly; therefore, it can be assumed by the semi-crystalline materials (PPS) have higher shrinkage rates than amorphous materials (PEI) [25].

Melt flow index of PPS and PEI vary from 30.4 g/cm³ to 8.94 g/cm³ in Table 5. From this Table, it can be stated that the flowability of PPS polymer are faster than the polymers of PEI. Therefore, this

polymer has been preferred in many applications. Additionally, solid density of PPS and PEI were found in 1.647 g/cm³ and 1.627 g/cm³, respectively.

5. Conclusions

This paper focused on the performance of high performance advanced polymers of PPS and PEI by evaluating the mechanical behavior, rheological characteristic and dimensional property. The obtained results can be expressed in the following:

- The plastic injection tests for both PPS and PEI polymers were conducted to reduce the time of experiments based on Taguchi design.
- From tensile tests, it can be understood that the tensile strength values of the PPS polymer are higher than that of the PEI polymer. In contrast, the strain values of PPS polymer are smaller than those of PEI.
- It can be found that the most effective parameter on the tensile strength is the type of runner type among the three injection conditions. In similar way, the conditions of temperature and the type of runner are very significant on the shrinkage.
- The tensile strength of PPS increases with the increase the content of glass fiber, but strain values indicates decreasing trend with increasing of glass fiber content. This result indicates that the mechanical behavior of PPS is better than that of PEI.
- The best impact toughness was achieved with PPS polymer material while low impact toughness was obtained from PEI polymer. This result was associated with the injection conditions of melt temperature, injection pressure and runner type.
- The volumetric shrinkage of PPS and PEI polymer is between international standards. Additionally, it can be concluded that the best shrinkage values for both PPS and PEI are obtained in the melt flow direction whereas the higher values are measured in transverse direction for PPS. It can be assumed that the content of glass fiber affects the dimensional stability of PPS specimens.
- The addition of glass fiber has no important effect on the melt flow characteristic of the polymers but also PPS of the melt flow index is higher than that of PEI. In addition to this, the solid density value of both polymers is very close to each other.
- As a result, this current study shows that high performance advanced polymers such as PPS and PEI can be used effectively and safely in the automotive, aerospace, electronics and sports industries due to their properties such as high strength, medium toughness and good dimensional stability.

Acknowledgment

The authors would like thanks to Güneş Plastic Molding Industrial and to Chemical Engineering of Mechanical Laboratory at Kocaeli University.

Conflict of Interest Statement

The authors declare that there is no conflict of interest.

References

- [1] J. P. Beaumont, R. Nagel and R. Sherman, *Successful Injection Molding*: First Edition, Cincinnati: Hanser/Gardner Publications Inc., 2002.
- [2] A. Campo, *Selection of Polymeric Materials*, Norwich: William Andrew Publishing, 2008.
- [3] Ö. T. Savaşçı, N. Uyanık and G. Kovalı, *Plastics and Plastic Technology with Basic Lines*, İstanbul: 3rd edition, PAGEV Publications, 2008.
- [4] Moldblade, "Plastic Injection Moulding: Main Defects in Injection Moulded Parts," 3 June 2021. <https://moldblade.com/en/plasticinjection-moulding-main-defects-in-injection-moulded-parts/>. [Accessed: Dec, 30, 2022].
- [5] W. Liu, T. Qiu, L. Wang and W. Jiang, "Mechanical Properties and Injection Molding Processability of Glass Fiber Modified Polyactic Acid Composites," *Journal of Physics*, vol. 2390, pp.1-9, 2022. doi:10.1088/1742-6596/2390/1/012012
- [6] A. Çetin and Z. Tekiner, "The Effect of Injection Parameters on the Bending and Impact Strength of Glass Fiber Reinforced PA66," *4th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science, ISITES 2016*, Antalya, Turkey, 3-5 November, 2016, pp. 59-68.

- [7] E. Farotti and M. Natalini, Injection Molding. "Influence of Process Parameters on Mechanical Properties of Polypropylene Polymer". *A First Study, International Conference on Stress Analysis, AIAS 2017*, Pisa, Italy, 6-9 September 2017, pp.256-264.
- [8] E. A. Berihun and T. M. Bogale, "Parameter Optimization of PET Plastic Preform Bottles in Injection Molding Process Using Grey-Based Taguchi Method," *Advances in Materials Science and Engineering*, vol. 4416602, pp.1-9, 2022. doi:10.1155/2022/4416602
- [9] H. Barghikar, P. Mosaddegh, M. Masoumi, M. Ranjbar, "The Effect of Packing Phase and Mold Temperature on The Directional Warp of Spherical Lenses Using The Injection Molding Process", *SN Applied Sciences*, vol.1, 598, May 2019, doi.org/10.1007/s42452-019-0615-0
- [10] İ. N. Yılmaz and M. A. Taşdelen, "Preparation of Glass Fiber Added Polyamide 66/Polyphthalamide Blends," *Journal of Uludağ University Engineering Faculty*, vol.23,1, pp.285-296, 2018. Doi:10.17482/uumfd.350589
- [11] X. Yan and P. Uawongsuwan, "Tensile Properties of Glass Fiber/Carbon Fiber Reinforced Polypropylene Hybrid Composites Fabricated by Direct Fiber Feeding Injection Molding Process," *International Mechanical Engineering Congress and Exposition, IMECE2016*, Arizona, USA, November 11-17, 2016, pp.1-9.
- [12] P. E. Caltagirone, R. S. Ginder, S. Ozcan, K. Li, A. M. Gay, J. Stonecash, K. X. Steirer, D. Cousins, S. P. Kline, A. T. Maxey and A. P. Stebner, "Substitution of Virgin Carbon Fiber with Low-Cost Recycled Fiber in Automotive Grade Injection Molding Polyamide 66 for Equivalent Composite Mechanical Performance with Improved Sustainability," *Composites: Part B*, vol. 221, pp.1-8, 2021. doi:10.1016/j.compositesb.2021.109007
- [13] P. Franciszczaka, E. Piesowicza and K. Kalniņš, "Manufacturing and properties of r-PETG/PET Fibre Composite–Novel Approach for Recycling of PETG Plastic Scrap into Engineering Compound for Injection Moulding," *Composites: Part B*, vol. 154, pp. 430-438, 2018. doi:10.1016/j.compositesb.2018.09.023
- [14] A. Manjunath, H. Manjushree, K. C. Nagaraja and K. G. Pranesh, "Role of E-glass Fiber on Mechanical, Thermal and Electrical Properties of Polyphenylene Sulfide (PPS) Composites," *Materials Today: Proceedings*, vol. 62, pp. 5439-5443, 2022. doi:10.1016/j.matpr.2022.04.083
- [15] P.Y. Jar, R. Mulone, Davies P, H.H. Kausch. "A Study of the Effect of Forming Temperature on the Mechanical Behavior of Carbon-Fibre/PEEK Composites," *Composite Science Technology*, vol. 46, no. 1, pp.7-19, 1993. doi: 10.1016/0266-3538(93)90076-S
- [16] S. Oshima, R. Higuchi, M. Kato, S. Minakuchi, T. Yokozeki, T. Aoki, "Cooling rate-Dependent Mechanical Properties of Polyphenylene Sulfide (PPS) and Carbon Fiber Reinforced PPS (CF/PPS)," *Composites: Part A*, vol. 164, 2023. doi: 10.1016/j.compositesa.2022.107250
- [17] Z. Chen, T. Li, Y. Yang, X. Liu and R. Lv, "Mechanical and Tribological Properties of PA/PPS Blends," *Wear*, vol. 257, pp.696-707, 2004. doi:10.1016/j.wear.2004.03.013
- [18] J. Kocsis and K. Friedrich, "Microstructural Details and the Effect of Testing Conditions on the Fracture Toughness of Injection-Moulded Poly (Phenylenesulphide) Composites," *Journal of Material Science*, vol. 22, no. 3, pp. 947-961, 1987. doi:10.1007/BF01103535
- [19] Minitab Cooperation, "Minitab Statistical Software, Release 16, Making Data Analysis Easier," State College, USA, 2007.
- [20] ASTM International, "Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics," ASTM D-638, ASTM International, 2002.
- [21] ASTM International, "Standard Test Method of Measuring Shrinkage from Mold Dimensions of Thermoplastics," ASTM D-955, ASTM International, 2002.
- [22] ASTM International, "Standard Test Method for Melt Flow Rates of Thermoplastics by Extrusion Plastomer," Annual Book of ASTM Standards, vol. 8, no. 1, pp. 265-276, 2001
- [23] S. Zhou, Q. Zhang, C. Wua and J. Huang, "Effect of Carbon Fiber Reinforcement on the Mechanical and Tribological Properties of Polyamide6/Polyphenylene Sulfide Composites," *Materials and Design*, vol. 44, pp. 493-499, 2013. doi:10.1016/j.matdes.2012.08.029
- [24] B. Suresha, B. N. Kumar, M. Venkataramareddy and T. Jayaraju, "Role of Micro/ Nano Fillers on Mechanical and Tribological Properties of Polyamide66/Polypropylene Composites," *Materials and Design*, vol. 31, pp. 1993-2000, 2010. doi:10.1016/j.matdes.2009.10.031
- [25] H. H. Tsou, C. C. Huang, T. W. Zhao and Z. H. Wang, "Design and Validation of Sensor Installation for Online Injection Molding Sidewall Deformation Monitoring," *Measurement*, vol. 205, pp. 1-12, 2022. doi:10.1016/j.measurement.2022.112200
- [26] ASTM International, "Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics," ASTM D-256, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015.



GAZİ

JOURNAL OF ENGINEERING SCIENCES

Higher Education Planning and Decision Support System with Multi-Class and Imbalanced Educational Dataset: A Case Of Technology Faculty

Esra Yılmaz^a, Zehra Aysun Altıkardes^b, Hasan Erdal^c

Submitted: 21.06.2022 Revised: 08.12.2022 Accepted: 21.01.2023 doi:10.30855/gmbd.0705053

ABSTRACT

Keywords: Educational data mining, imbalanced dataset, multiclass dataset, prediction

^{a,*} Marmara University,
Institute For Graduate Studies In Pure
and Applied Sciences,
Department of Computer Engineering
34730 - İstanbul, Türkiye
Orcid: 0000-0003-2411-4937
e mail: esra@marmara.edu.tr

^b Marmara University,
Vocational School Of Technical Sciences,
Computer Technologies
34730 - İstanbul, Türkiye
Orcid: 0000-0003-3875-1793

^c Marmara University,
Faculty Of Technology,
Electrical And Electronics Engineering
34730 - İstanbul, Türkiye
Orcid: 0000-0001-8296-0694

*Corresponding author:
esra@marmara.edu.tr

Studies on academic performance prediction, a sub-branch of Educational Data Mining, have increased in recent years. Educational datasets in real environments often have class imbalanced and multi-class target variables. However, studies with these datasets are very few. In this context, in this study, with the ethical no decision of 23.05.2022-286783, using the data set of Marmara University (MU) Faculty of Technology (TF) students, a student graduation status estimation was made with the multiclass imbalanced educational dataset to identify the students at risk. 1394 samples and 11 features were obtained through data preprocessing and feature selection (FS) stages. 153 students belonging to 2016 were used for robustness control. 3 different datasets containing 11, 7 and 5 features obtained with 7 different FS were created. Using 9 different sampling methods and 16 different machine learning algorithms, 750 different models were created. Models were checked for robustness. F1 Score and Repeated Stratified 5*5 fold-CV were used as success criteria. Hyperparameter settings were made with GridSearchCV. As a result, although ROS+RF was the most successful algorithm with an F1 Score of 0.9935, the most successful and most consistent models were the 7-featured None+ET, None+MLP, None+Bagging_DT and None+RF models. With these models, the decision support system web application was developed and presented to MU TF faculty members.

Çok Sınıflı ve Dengesiz Eğitimsel Veri Kümesiyle Yükseköğretim Planlama ve Karar Destek Sistemi: Teknoloji Fakültesi Örneği

ÖZ

Eğitimsel Veri Madenciliğinin alt dalı olan akademik performans tahminiyle ilgili çalışmaların son yıllarda attığı görüldü. Gerçek ortamlarda eğitimsel veri kümeleri çoğunlukla sınıf dengesizliğine ve çok sınıflı hedef değışkine sahip olduğu ancak bu veri kümesi ile yapılan çalışmaların literatürde az olduğu görüldü. Bu bağlamda, bu çalışmada, 23.05.2022-286783 etik no kararı ile Marmara Üniversitesi (MÜ) Teknoloji Fakültesi (TF) öğrencilerine ait veri seti kullanılarak, çok sınıflı dengesiz eğitimsel veri kümesiyle, riskli öğrencileri tespit etmek için öğrenci mezuniyet durum tahmini yapıldı. Veri ön işleme ve özellik seçimi (FS) aşamalarıyla 1394 örneklem ve 11 özellik elde edildi. 2016 yılına ait 153 öğrenci sağlamlık kontrolü için kullanıldı. 7 farklı FS ile elde edilen 11, 7 ve 5 özellik içeren 3 farklı veri kümesi oluşturuldu. 9 farklı örnekleme yöntemi ve 16 farklı makine öğrenmesi algoritması kullanılarak birbirinden farklı 750 model oluşturuldu. Modellere sağlamlık kontrolü yapıldı. Başarı ölçütü olarak F1 Score ve Repeated Stratified 5*5 fold-CV kullanıldı. Hiper parametre ayarları GridSearchCV ile yapıldı. Sonuç olarak RandomOverSampler + RandomForest F1 Score 0.9935 değeriyle en başarılı algoritma olmasına rağmen, en başarılı ve en tutarlı modeller 7 özellikli, None+ET, None+MLP, None+Bagging_DT ve None+RF modelleri oldu. Bu modellerle karar destek sistemi web uygulaması geliştirilerek MÜ TF öğretim üyelerine sunuldu

Anahtar Kelimeler: Eğitimsel Veri Madenciliği, Dengesiz Veri Kümesi, Çok Sınıflı Veri Kümesi, Tahmin

1. Giriş (Introduction)

“Yükseköğretimin amacı, öğrencileri, ilgi ve yetenekleri yönünde yurt kalkınmasına ve ihtiyaçlarına cevap verecek, aynı zamanda kendi geçim ve mutluluğunu sağlayacak bir mesleğin bilgi, beceri, davranış ve genel kültürüne sahip, vatandaşlar olarak yetiştirmektir.” [Yükseköğretim Kanunu, Madde 4/a/7][1]. Bu bağlamda, öğrencilerin doğru meslek seçmesi, akademik performansının geliştirilmesi, iyileştirilmesi ve takibinin yapılması çok önemlidir. Bölümü bırakma ihtimali olan öğrencileri önceden tespit etmek, ihtiyaçlarını gidermek, öğrencilere başarısının artması yönünde destek vermek ve okuduğu bölüme geri kazandırmak yükseköğretimin amaçlarındandır. Yanlış bölüm seçiminden dolayı bölümü bırakma ihtimali olan öğrencilerin önceden tespit edilerek, doğru mesleğe henüz yükseköğretime başlamadan yönlendirilmesi ise hem öğrencinin hem yükseköğretimin hem de ülkenin lehinedir.

“Eğitim teknolojisini üretmek, geliştirmek, kullanmak, yaygınlaştırmak Yükseköğretim Kurumlarının görevlerindedir.” [Yükseköğretim Kanunu, Madde 12/h][1]. Eğitim Teknolojisi, eğitimde performans artışını sağlamak için teknolojinin eğitim alanında kullanılmasıdır [2]. Son yıllarda, eğitim alanında kullanılan Eğitsel Veri Madenciliği (Educational Data Mining -EDM) yöntemi kullanımında artış vardır. Uluslararası Eğitim Veri Madenciliği Derneği, EDM’yi, “eğitim ortamlarından gelen benzersiz ve giderek daha büyük ölçekli verileri keşfetmek için yöntemler geliştirmek ve bu yöntemleri öğrencileri ve içinde öğrendikleri ortamları daha iyi anlamak için kullanmakla ilgilenen, gelişmekte olan bir disiplindir.” şeklinde tanımlar [3]. EDM yöntemi, eğitim verilerini analiz ederek, makine öğrenme yöntemleri ile öğrenme deneyimini ve kurumsal etkinliği geliştirmek için modeller geliştirir.

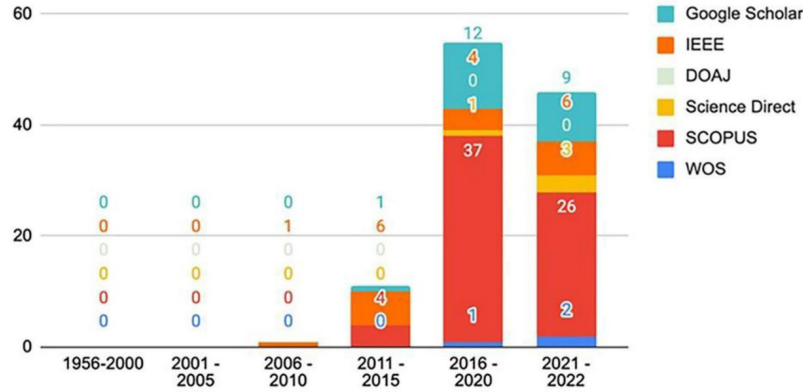
EDM kullanarak geliştirilen modelin başarısı, birçok kritere bağlıdır. Makine öğrenmesi algoritmalarını seçmeden önce kullanılacak verinin doğru analiz edilmesi büyük önem taşır. Bu nedenle eğitim verilerinin büyüklüğü, karmaşıklığı göz önüne alındığında, eğitim verisinin ön işlem aşamasında çok iyi organize edilmesi gerekir. Ayrıca veri kümesindeki hedef değışkene ait sınıf dağılımındaki oranlar arasında büyük farklar varsa, veri kümesinde dengesizlik oluşur [4]. Bu tür veri kümelerine dengesiz (imbalanced)(ID) veri kümesi denir. Veri kümesinde bu şekilde sınıf dengesizliği probleminin olması model başarısında oldukça etkilidir. Çok küçük oranda bulunan sınıf, azınlık sınıfı olarak adlandırılır. Gerçek yaşam verilerinde, genellikle azınlık sınıfı daha önemlidir ve azınlık sınıfına ait verinin tanınma oranını iyileştirmek için farklı yöntemler uygulanır [5]. Çünkü çoğu sınıflandırma algoritmasının öğrenme süreci çoğunlukla çoğunluk sınıfı örneklerine karşı önyargılıdır, yani azınlık sınıfına ait olanlar modelleme sürecinde doğru şekilde modellenemez [6]. Bu problemi çözmek ve azınlık sınıfına ait olan verinin de sınıflandırma doğruluğunu artırmak için, veri düzeyinde yeniden örnekleme ve algoritma düzeyinde modifiye edilmiş öğrenme algoritmaları şeklinde iki ana yaklaşım vardır [7].

Veri kümesindeki hedef değışken kategorik ve sayısal olabilir. Kategorik değışkenler, sınıflanabilir(nominal) ve sıralanabilir(ordinal) şeklinde; sayısal değışkenler ise kesikli ve sürekli olarak ikiye ayrılırlar [8]. Bu şekilde kategorik değışkenlerden sınıflanabilir veya sıralanabilir olan hedef değışkenler ikili ve çok sınıflı (multiclass) (MC) olarak ayrılır. Hedef değışken sayısal değerler olduğunda “regresyon problemi”, ikili nominal sınıflı değerler olduğunda “sınıflandırma problemi” ve çok sınıflı değerler olduğunda ise “çok sınıflı sınıflandırma problemi (multiclass classification problem)” olarak adlandırılır. Perceptron, Lojistik Regresyon ve Destek Vektör Makineleri gibi sınıflandırma algoritmalarında en yaygın ayar yalnızca iki sınıfı içerecek şekildedir, bu nedenle çok sınıflı sınıflandırmayı doğal olarak desteklemez. Bu problemi çözmek üzere tasarlanan çok sınıflı veri kümesini ikili sınıflı veri kümesine bölerek model oluşturan One-vs-Rest ve One-vs-One şeklinde yaklaşım vardır [9].

Bu çalışmada, Marmara Üniversitesi (MÜ) Öğrenci İşleri Daire Başkanlığı (ÖİDB)’nin E-44174047-730.03.01-286783 etik kurul kararı ile MÜ Teknoloji Fakültesi (TF) mühendislik öğrencilerine ait 319 öznitelik ve 4023 örneklem içeren veri kümesi kullanıldı. Çok sınıflı dengesiz eğitimsel veri kümesi ile makine öğrenmesi yöntemleri kullanarak öğrenci mezuniyet tahmini yapan karar destek sistemi geliştirilmesi amaçlandı.

Çalışmanın diğer çalışmalardan en önemli farkı, veri kümesinin hem çoklu sınıf hem de sınıf dengesizliği problemlerine sahip olan bir eğitimsel veri kümesi olmasıdır. Literatür Araştırması bölümünde ayrıntılı bir şekilde açıklandığı ve Şekil 1.’de görüldüğü gibi çok sınıflı dengesiz eğitimsel veri kümesi ile yapılan çalışmaların 2010-2011 yıllarından itibaren arttığı görüldü. Bu bağlamda, veri

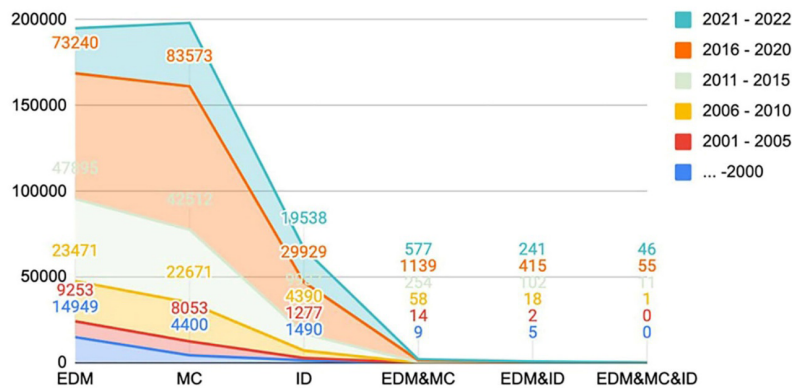
kümesinin özgün olması bu çalışmanın en önemli özgünlüğüdür. Ek olarak, MÜ TF Öğretim Üyelerinin kullanabileceği bir karar destek sistemi web uygulaması yapıldı. Yöntem olarak farklı makine öğrenmesi algoritmaları ve farklı örnekleme yöntemleriyle modelleme yapılarak, farklı modellere ait karşılaştırmalı sonuçların elde edilmesi, literatüre farklı çözümler sunulması açısından faydalı olacağı öngörüldü.



Şekil 1. Bilimsel veri kaynakları ve EDM, MC ve ID disiplinlerindeki çalışmaların yıllara göre dağılımı (Scientific data sources and distribution of studies on disciplines EDM, MC and ID according to years)

1.1. Literatür araştırması (Literature research)

Literatür araştırması sırasında, Şekil 2'den de anlaşıldığı gibi EDM, ID ve MC disiplinleri ile ayrı ayrı yapılan çalışmaların 2000'li yıllardan önce başladığı görüldü. Son yıllarda EDM, ID ve MC disiplinlerinin aynı veri kümesinde kullanıldığı çalışmaların sayısının ise arttığı görüldü. Bu çalışmaların içinden çok sınıflı ve dengesiz eğitimsel veri kümesi ile ilgili olanların özet bilgileri Tablo 1.'de gösterildi. Ayrıca yapılan bu çalışmaların çoğunlukla, üniversiteye kayıt yaptırmış ve okuduğu bölüme ait ders notu olan öğrencilerin performans tahmini üzerine olduğu görüldü. Diğer yandan henüz üniversite tercihinde bulunmamış ve üniversiteye yerleşmemiş aday öğrencilerin ders notu, yarıyıl dönemi gibi akademik bilgileri olmadığından bu şekilde öğrenci performans tahminini yapan çalışmanın yok denecek kadar az olduğu görüldü. Yükseköğretim verilerinde çok sınıflı ve dengesiz veri kümesi problemi tespit edildi. Mevcut çalışmalar, öğrencilerin öğrenci performans tahminini geliştirmeye odaklansa da, çok sınıflı dengesiz eğitimsel veri kümesi ile öğrenci performans tahmini üzerinde yapılan çalışmaların az olduğu görüldü. Literatürdeki bu boşluğu doldurmak üzere, bu çalışmada çok sınıflı ve dengesiz eğitimsel veri kümesi üzerinde öğrenci performansını makine öğrenmesi algoritmaları ile tahminlenmesi ve bu modeller kullanılarak geliştirilen bir karar destek sistemi web uygulaması yapıldı.



Şekil 2. EDM, MC ve ID disiplinlerinde yapılan çalışmaların yıllara göre dağılımı (Distribution of studies on disciplines EDM, MC and ID according to years)

Özetlemek gerekirse, Tablo 1.'de ve Şekil 1'de belirtilen literatür araştırması sonuçları neticesinde bu çalışmada, makine öğrenmesi algoritmaları ve örnekleme yöntemleri kullanılarak çok sınıflı dengesiz eğitimsel veri kümesi üzerinde mezuniyet tahmini yapan modeller oluşturuldu ve en tutarlı modeller kullanılarak pilot bir karar destek sistemi web uygulaması geliştirildi. Böylece, üniversiteye

başlamadan, bölüme kayıt yaptırdıkları takdirde, sınıfta kalma ihtimali, bölümü terk etme ihtimali olan riskli öğrencilerin önceden tahmin edilebilmesi ve bu öğrencilerle ilgili iyileştirme çalışmasının yapılmasına imkân sunuldu. Özgün çalışmada önerilen yöntemin literatürde EDM disiplinine yeni bir katkı sağlayacağı düşünüldü.

Tablo 1. Literatürde çok sınıflı ve dengesiz eğitimsel veri kümesi ile ilgili yapılan çalışmalar (Studies on multi-class and imbalanced educational dataset in the literature)

No	Veri Kümesi	Örneklem Sayısı	Özellik Sayısı	Hedef Sınıf Sayısı	Makine Öğrenmesi	Yeniden Örnekleme Yöntemleri	Cross Validation (CV)	Başarı Metrikleri	Sonuç
1 [11]	UCI Machine Learning	403	5	3	SVM	SMOTE	-	Accuracy, Sensitivity, Specificity, G-mean	Başarılı
2 [12]	A university	1282	10	5	RF, DT, SVM, NB, KNN, LR	SMOTE	10 fold CV	F Measure	RF + SMOTE en başarılı
3 [13]	Two universities	650 ve 394	19 ve 19	4 ve 4	XGBoost, RF, KNN, ANN, SVM, DT, LR, NB	Borderline SMOTE, ROS, SMOTE, SMOTE-ENN, SVMSMOTE, SMOTETomek	Shuffle 5-fold CV	Accuracy, Recall, Precision, F1 Score	RF + SVM SMOTE en başarılı
4 [14]	Kaggle Kalboard 360 LMS	480	16	3	Stacking, RF, LR, KNN, DT, CART, SVM	SMOTE, Borderline SMOTE, SMOTETomek	10-fold CV	Accuracy, G-Mean	SMOTE + RF %83 F1 Score en başarılı
5 [15]	A university	1334	43	7	RF, Boosting, Bagging, NB, SVM, NN, LR, KNN, DT C4.5		10-fold CV	Accuracy, ROC	RF
6 [16]	A university	101617	19	3	RF, Gradient Boost, AdaBoost, DT	SMOTE	Holdout	Accuracy	Smote + RF %85.03 accuracy
7 [17]	A university	497	18	?	RF, Adaboost, Stochastic GBM, xgbTree, C4.5	?	10 Fold CV	precision, specificity, recall, kappa metrics, balanced accuracy, F-score	RF ve Adaboost F-score 66.67%
8 [18]	Kaggle Kalboard 360 LMS	480	16	3	LDA, LR, RT, KNN, NB, SVM	SMOTE	5 ve 10 Fold CV	confusion matrix (CM), accuracy, precision, recall, F1-Score	LR %86 accuracy
9 [19]	A university	6882	15	3	Gradient Boost, Adaboost, RF, MLP	SMOTE, Borderline SMOTE, SVMSMOTE ADASYN	?	?	MLP + Borderline SMOTE en başarılı
10 [20]	Kaggle Kalboard 360 LMS	480	16	3	Gradient Boost, SVM, KNN, CART, MLP, LDA	RUS, ROS, SMOTE	10 Fold CV	CM, Accuracy, AUC, Kappa, Precision, Recall	SMOTE + PCA SVM %94 Accuracy en başarılı

Bu bağlamda çalışmanın genel düzeni şu şekilde organize edildi: Materyal ve Yöntem bölümü altında ilk önce tasarlanan sistem mimarisi belirtildi. Veri setinin tanıtımı ve üzerinde yapılan ön işleme ve özellik seçimiyle ilgili bilgiler materyal yöntemi kısmında açıklandıktan sonra yöntem bölümünün altında kullanılan makine öğrenmesi algoritmaları ile tasarlanan sistem ve performans kriterleri ile

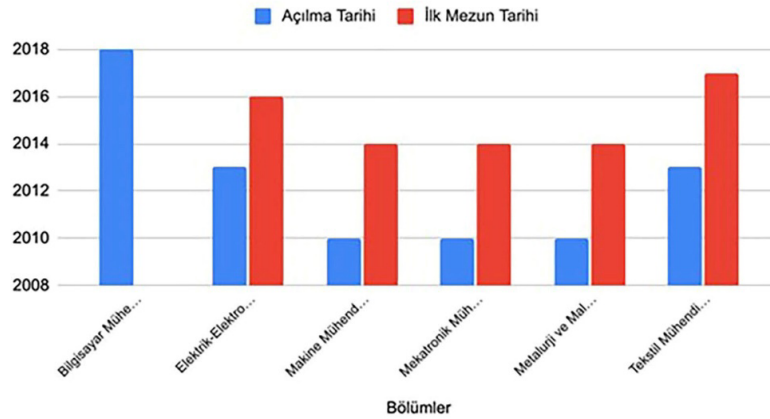
elde edilen bulgular paylaşıldıktan sonra Karşılaştırma bölümünde, literatürle ilgili karşılaştırma ve bu çalışmadaki en başarılı ve en tutarlı sonuçların karşılaştırması yaparak, çalışmanın güçlü ve zayıf yönleri ile geliştirilebilir yönleri belirtildi. “Web Uygulaması” alt başlığı altında geliştirilen web uygulaması karar destek sistemi anlatıldıktan sonra “Sonuç” bölümünde çalışmayla ilgili ulaşılan sonuçlar, öneriler ve gelecek çalışmalara ilişkin görüşler paylaşıldı.

2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Bu çalışmada, veri analizine dayalı makine öğrenmesi ile tahminleme modeli geliştirildi. Bunun için gerekli olan süreçler verinin temin edilmesi, verinin işlenmesi ve makine öğrenmesi algoritması ile modellenmesi şeklinde yapıldı. Bu bağlamda, her sürecin verimini artıracak yazılımsal ve donanımsal materyaller kullanıldı. Çalışma boyunca, MacBook Pro: 2.3Ghz Dual-Core Intel Core i5 donanımı ve Python Jupyter ve WEKA yazılımları kullanıldı.

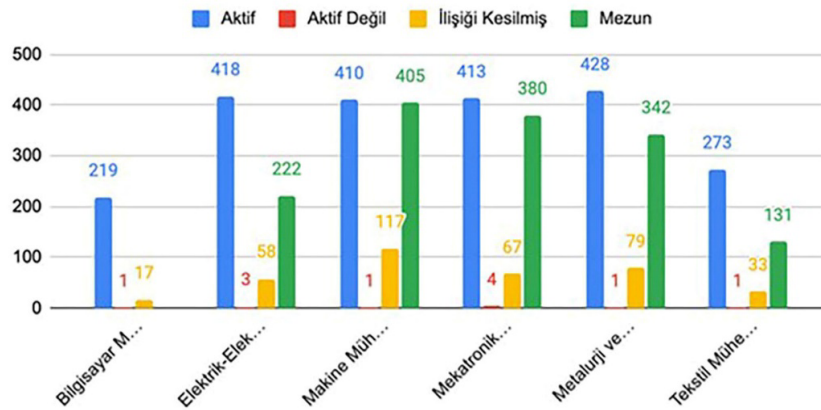
2.1. Veri kümesi (Dataset)

Bu çalışmada, MÜ ÖİDB'nın E-16110545-302.08.01-2100040487 etik no kararı ile MÜ TF mühendislik öğrencilerine ait veri kümesi kullanıldı. Elde edilen veri kümesinde 319 adet özellik ve 4023 adet örneklem tespit edildi. Veri kümesi üzerinde istatistiksel analizler yapıldığında TF'de Bilgisayar Mühendisliği (Müh.), Elektrik-Elektronik Müh., Makine Müh., Mekatronik Müh., Metalurji ve Malzeme Müh. ve Tekstil Müh. olmak üzere 6 bölüm olduğu görüldü. Şekil 3'te TF bölümlerinin ilk öğrenci kayıt yılı ve ilk öğrenci mezun yılları gösterildi.



Şekil 3. MÜ TF 2021 Şubat ayına kadar bölümlere ait açılma ve mezun yılları (MU TF opening and graduation years of departments until February 2021)

TF de bulunan 6 bölümdeki toplam 4023 öğrencinin mezuniyet durumları “Aktif”, “Aktif Değil”, “İlişigi Kesilmiş” ve “Mezun” şeklinde olduğu görüldü ve bölümlere göre öğrenci mezuniyet durum dağılımları Şekil 4.’teki gibi gösterildi.



Şekil 4. MÜ TF bölümlerine göre öğrenci ve öğrenci durum dağılımları (Student and student status distributions according to MU TF departments)

Şekil 4 incelendiğinde, “Mezun” durumda olan öğrenci sayısının 1480 iken, “İlişği Kesilmiş” durumda olan öğrenci sayısının 371 ve “Aktif Değil” durumda olan öğrenci sayısının ise sadece 11 olduğu görüldü. Bu bağlamda toplam 4023 öğrenciden sadece %9.2 si “İlişği Kesilmiş” durumda olan öğrenci olduğu tespit edildi. Bu durumda mezuniyet durum dağılımları arasındaki farkın çok olduğu görüldü. Bu nedenle bu veri setinin dengesiz bir veri seti olduğu belirlendi.

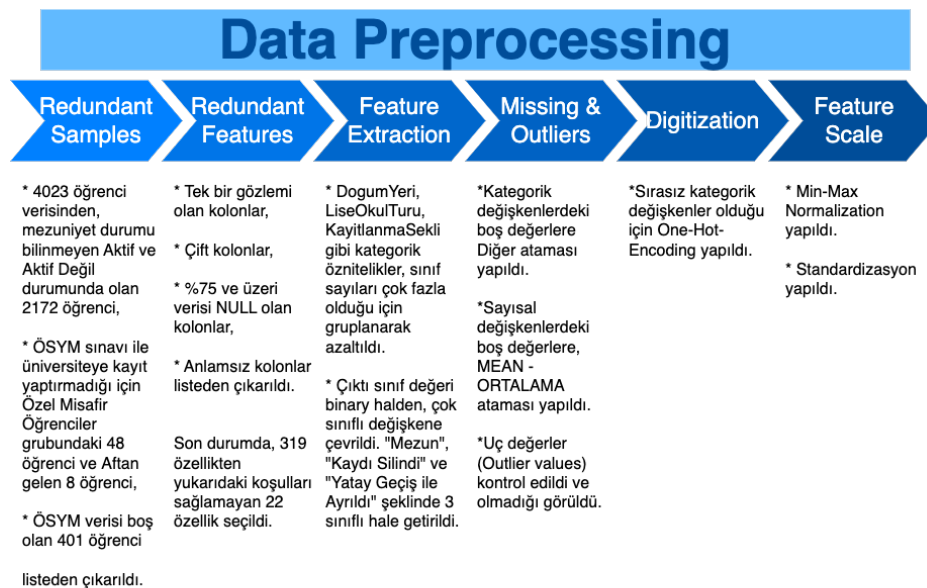
2.2. Veri ön işleme (Data preprocessing)

MÜ TF öğrenci veri kümesi Şekil 5’teki veri ön işleme adımları sırasıyla uygulandı. Öncelikle, mezuniyet durumu bilinmeyen Aktif ve Aktif Değil durumundaki 2172 öğrenci, ÖSYM verisi boş olan 401 öğrenci ile üniversiteye kayıtlanma şekli ÖSYM olmayan 56 öğrenci, gereksiz örnekler olduğu için veri kümesinden çıkarıldı. Özellik mühendisliği yöntemleri ile gereksiz özellikler veri kümesinden çıkarıldı. Daha sonra özellik çıkarımı ile kategorik özellikler işlendi ve yeni özellikler elde edildi. Eksik aykırı değerler aşamasında boş olan değerler, ilgili özelliğin ortalaması ile güncellendi. Uç değerler kontrol edildi ve olmadığı görüldü. Kategorik değişkenlerden boş olanlar Diğer verisi ile güncellendi. One hot encoding işlemi ile veri kümesi sayısallaştırıldı. Son olarak özellik ölçeklendirme yapıldı ve 4023 öğrenciden, hedef değişkeni 1158 “Mezun”, 110 “Kaydı Silindi” ve 126 “Yatay Geçiş / Program Değişikliği” mezuniyet durumlarını içeren toplam 1394 öğrenci elde edildi.

2.3. Özellik seçimi (Feature Selection)

Ham veri setinde bu çalışmanın amacına uygun olarak kullanılacak verileri içeren Öğrenci Bilgileri, Öğrenci ÖSYM Bilgileri, ÖSYM Detay, ÖSYM Lise, ÖSYM Lise 2014, Öğrenci Bilgiler Kalanlar ve İl İlçe tabloları kullanıldığında, özellik sayısı, 319’dan ilk olarak 81’e indirildi. Devamında, Şekil 5’te belirtilen “Gereksiz Özellikler” aşaması uygulandı ve özellik sayısı 81’den 20’e indirildi.

Şekil 5’teki “Gereksiz Özellikler” aşamasından sonra şu özellikler elde edildi: BirimAdi, Cinsiyet, DogumYerill, DogumTarihi, KayitYili, Sinif, EgitimYariYili, Durum, MezuniyetTarihi, MezunGANO, OgrrenciDurumKodID, OsymKayitYili, LiseNotu, osymOkulTuru, YerPuaniSirasi, YerBolumTercihSirasi, MtokOgrncisi, osymOkulBirincisi, KontenjanTuru, UniversiteYerlestirmeSirasi. Korelasyon haritası çıkarıldı ve yüksek korelasyona sahip özelliklerin olduğu görüldü. Bunlardan DogumTarihi, KayitYili, MezuniyetTarihi, OsymKayitYili ile; Sınıf, MezuniyetTarihi ve EğitimYariYılı ile, MtokOgrncisi, OsymKayitYili ile gibi özellikler birbiriyle korelasyonu yüksek çıktığı için birer tanesi bırakılarak yüksek korelasyonlu diğer özellikler kaldırıldı. “Eksik&Aykırı Değerler” aşamasında, boş olan değerler güncellendi. Son durumda, veri ön işleme aşamaları tamamlandığında bu çalışmada kullanılan ve Tablo 2’de ayrıntıları verilen 4023 öğrenci ve 319 özellikten, toplam 1394 öğrenci ve 11 özellik elde edildi.



Şekil 5. Veri ön işleme aşamaları ve yapılan işlemler (Data preprocessing stages and operations)

Tablo 2. Özellik değerleri ve açıklamaları (Feature values and descriptions)

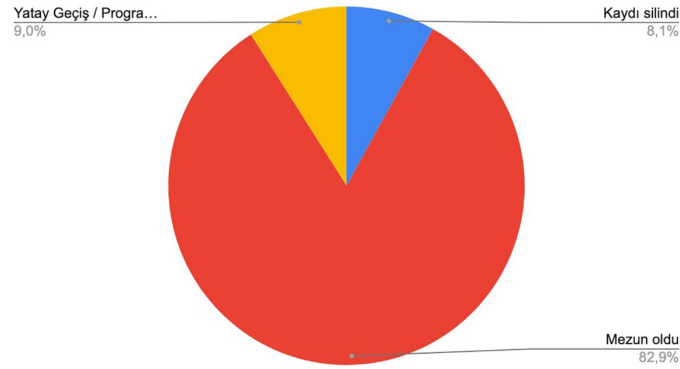
Özellik	Tür	Değerler	Toplam Öğrenci Sayısı	Açıklama
Birim Adı	Kategorik	Bilgisayar Müh Elektrik-Elektronik Müh Makine Müh Mekatronik Müh MetalurjiveMalzeme Müh Tekstil Müh	14 178 365 355 345 137	Öğrencilerin tercih ettiği bölümlerdir. Bilgisayar Mühendisliği mezun vermediği için listeden çıkarıldı.
Cinsiyet	İkili (Boolean)	Kadın: 0 Erkek: 1	316 1078	Cinsiyet. Öğrencilerin cinsiyetleri.
Doğum Yeri Bölge	Kategorik	Akdeniz Doğu Anadolu Ege Güneydoğu Anadolu İç Anadolu Karadeniz Marmara	89 185 91 70 194 393 372	Öğrencilerin doğum yerleri, bölgelere göre gruplandırılarak yeni özellik oluşturuldu.
Lise Notu	Sayısal	142 <= L.N. <= 500		Puan aralığıdır. Normalize edilerek 0 - 1 aralığına indirildi.
Lise Okul Turu	Kategorik	Anadolu Lisesi Anadolu Meslek Lisesi Anadolu Öğretmen Lisesi Anadolu Teknik Lisesi Fen Lisesi İmamhatip Lisesi Meslek Lisesi Normal Lise Özel Lise Teknik Lise	533 72 87 242 59 11 118 111 69 92	Öğrencilerin kayıtlanma şekilleri 39 farklı türdedir, gruplandırılarak yeni özellik oluşturuldu.
ÖSYM Yerleştirme Sırası	Sayısal	15141<=Y.P.S.<=413695		Puan sıralama. Normalize edilerek 0 - 1 aralığına indirildi.
Tercih Sırası	Sayısal	1 <= T.S. <=28		Tercih sırası. Normalize edilerek 0 - 1 aralığına indirildi.
Üniversite Yerleştirme Sırası	Sayısal	1 <= UYS <= 56		Üniversite yerleştirme sırası. Normalize edilerek 0- 1 aralığına indirildi.
Mtok Öğrencisi	İkili (Boolean)	Evet: 1 Hayır: 0	474 920	MTOK öğrencisi mi?
Okul Birincisi mi	İkili (Boolean)	Evet: 1 Hayır: 0	55 1339	Okul Birincisi mi? Öğrencilerin liseden birincilikle mi mezun olduğunu gösteren özellik
Mezuniyet Durum (Hedef Değişken)	Kategorik	Kayıd silindi Mezun oldu Yatay Geçiş / Program Değişikliği	110 1158 126	Öğrencilerin mezuniyet durumlarını gösteren heden değişken

2.4. Verinin eğitim ve sağlık veri setine bölünmesi (Splitting data into training and robustness dataset)

Temizlenmiş (Prepared) veri seti oluşturulduktan sonra, makine öğrenmesi ile oluşturulan modellerin sağlığını kontrol etmek için, 2016 yılında kayıt yapan öğrenciler kullanıldı. Bu nedenle, 2016 yılında kayıt yapan 153 öğrenci, temizlenmiş veri listesinden sağlık verisi olarak ayrıldı. Veri kümesinde 2016 yılı dışında kayıt yapan ve 1029 tane “Mezun”, 100 tane “Kaydı Silindi” ve 112 tane “Yatay Geçiş / Program Değişikliği” mezuniyet durumlarını içeren toplam 1241 öğrenci modeli eğitmek ve doğrulama yapmak üzere kullanıldı. Son durumda Şekil 6’de modeli eğitmek üzere kullanılan veri kümesinin sınıf dengesizliği ve çok sınıflı sınıflandırma problemlerine sahip olduğu görüldü.

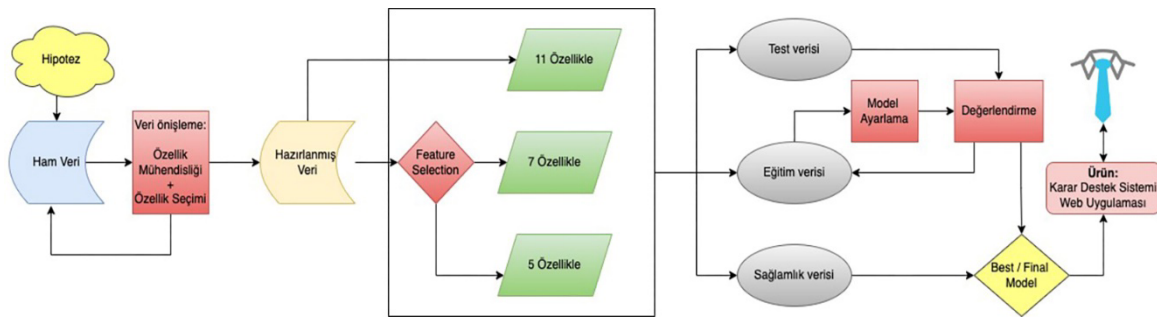
Şekil 7’de görüldüğü gibi veri ön işleme ve özellik seçimi tamamlandıktan sonra, hazırlanmış veri sağlık verisi, eğitim verisi ve test verisi olarak ayrıldı ve makine öğrenme algoritmaları eğitilip, modeller oluşturuldu ve son modellerden pilot bir karar destek web uygulaması yapıldı. Ön işleme ve özellik seçiminden sonra elde edilen hazırlanmış veri kümesinden 2016 yılına ait öğrenci bilgileri

sağlamlık testinde kullanılmak üzere ayrıldı. Böylece, sağlamlık testinde her sınıftan örnek olması sağlandı. Daha sonra, 2016 yılı hariç olan eğitim verisi, sınıf dengesizliği probleminde kullanımı önerilen Repeated Stratified 5*5 fold çapraz geçerleme yöntemi ile eğitildi. Böylece eğitim setinden elde edilen her örnekleme, her sınıftan örnek olması sağlandı. Döngü tamamlanana kadar eğitim verisine, sırasıyla makine öğrenmesi algoritmaları uygulandı ve modeller oluşturuldu.



Şekil 6. Model oluşturmak için kullanılan 1241 öğrencinin hedef özelliği dağılımları (Target feature distributions of 1241 students used to create the model)

2.5. Yöntem (Method)



Şekil 7. Genel akış şeması (General flow chart)

3 ayrı yöntem ile eğitim yaparak modeller oluşturuldu:

1. yöntemde, makine öğrenmesi algoritmaları yeniden örnekleme (resampling) yapılmadan ve hiper parametreler her algoritmaya özel belirlenerek modeller oluşturuldu.
2. yöntemde, eğitim verisine yeniden örnekleme yöntemleri uygulanarak ve hiper parametreler her algoritmaya özel belirlenerek modeller oluşturuldu.
3. yöntemde, sağlamlık verisi hariç tüm veri setine yeniden örnekleme yöntemleri uygulanarak ve hiper parametreler her algoritmaya özel belirlenerek modeller oluşturuldu.

Her 3 yöntemde de her döngüde oluşan modelin F1 Score, Recall, Accuracy, ROC Area, confusion matrix gibi performans ölçüm değerleri elde edildi. Ayrıca sağlamlık testinde kullanmak için, eğitim sonucunda oluşan her model, .pkl dosya formatında, dosya sistemine kayıt edildi. Döngüler tamamlandıktan sonra tüm değerlerin ortalama sonuçları alındı.

Ek olarak, Şekil 5.'teki Özellik Seçimi aşamasında elde edilen 1241 satır ve 11 özellik içeren hazırlanmış veri seti, Pearson, Chi-2, Mutual-Info, RFE, Logistics, RF, Anova F Test şeklindeki özellik seçimi yöntemleri ile tekrar ele alındı. Elde edilen sonuçlara göre, 1., 2. ve 3. yöntemler, 7 tane en çok kullanılan özellik ve 5 tane en çok kullanılan özellik ile ayrıca eğitildi. Böylece Tablo 3'te gösterildiği gibi, 3 farklı yöntem ve 3 farklı özellik seçimi ile toplam 9 çeşit model türü içeren 750 model elde edildi. Tüm oluşan modeller için sağlamlık kontrolü yapıldı ve eğitilen modellerin Test F1 score değerleri ile karşılaştırılarak, tutarlılık oranları elde edildi. En başarılı ve en tutarlı ilk 4 model seçildi ve Django-Python frameworku kullanılarak, pilot bir karar destek web uygulaması yapıldı.

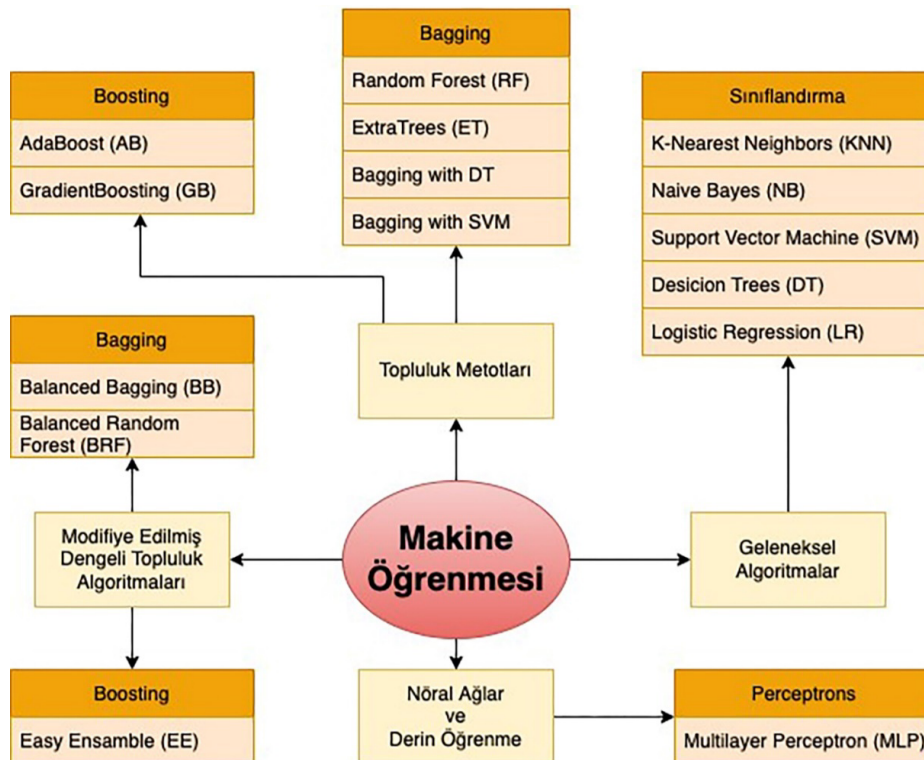
Tablo 3. Yöntemler sonucunda oluşan model sayıları (Number of models resulting from the methods)

	11 özellekle		7 özellekle		5 özellekle	
	Model Sayısı	Sağlamlık kontrolü yapılan model sayısı	Model Sayısı	Sağlamlık kontrolü yapılan model sayısı	Model Sayısı	Sağlamlık kontrolü yapılan model sayısı
1. yöntem	16	16	16	16	16	16
2. yöntem	117	117	117	117	117	117
3. yöntem	117	117	117	117	117	117
Toplam	250	250	250	250	250	250

Bu çalışmada kullanılan sınıflandırma algoritmaları, Şekil 8'de gösterildi. Ayrıca kullanılan makine öğrenmesi algoritmalarının parametreleri, GridSearchCV yöntemi kullanılarak optimize edildi.

Sınıf dengesizliği probleminin çözümünde, azınlık sınıfına ait olan verinin de sınıflandırma doğruluğunu artırmak için, veri düzeyinde yeniden örnekleme ve algoritma düzeyinde modifiye edilmiş öğrenme algoritmaları şeklinde iki ana yaklaşım olduğu literatürde bulundu[7]. Bu çalışmada, veri kümesine uygun olan örnekleme yöntemlerinden, SMOTE, SMOTENC, Borderline SMOTE, SVMSMOTE, ADASYN, Random Over-sampling ve hibrit yöntemlerden SMOTE - ENN, SMOTE - Tomek kullanıldı.

Dengesiz veri kümelerinde, hold out cross validation, k-fold cross validation, Repeated random subsampling validation her sınıftan örneklem almayabileceğinden ötürü kullanımının uygun olmadığı görüldü. StratifiedKFold, katmanlı kıvrımları döndüren bir k-fold çeşidi olduğu ve her iterasyonda, her set, tam set olarak her bir hedef sınıftan yaklaşık olarak aynı yüzdede örnek içerdiği görüldü. Böylece, özellikle dengesiz veri kümelerinde, doğrulama veya eğitim verilerinde belirli bir sınıfın fazla bulunmasını engellediği tespit edildi. Böylece, az örneklem içeren sınıfların da eğitilmesi sağlandı. Bu nedenle dengesiz veri setinde kullanımının uygun olduğu görüldü. Bu çalışmada da kullanılan veri kümesinde sınıf dengesizliği problemi olduğu için, Repeated Stratified 5*5-fold cross-validation yöntemi kullanıldı.



Şekil 8. Modellemede kullanılan makine öğrenmesi algoritmaları. (Machine learning algorithms used in modeling)

3. Bulgular (Findings)

Sınıf dengesizliği problemi olan veri kümelerinde, performans ölçümü olarak Doğruluk/Accuracy değerinin kullanılmasının yanıltıcı başarı oranı sağlayabildiği görüldü. Bu nedenle Doğruluk/Accuracy yerine, dengesiz veri setlerinde kullanımı güvenilir olan F1 Puanı/F1 Score, Dengeli Doğruluk/Balanced Accuracy değerleri kullanıldı. Doğruluk/Accuracy, Geri Çağırma/Recall ve Özgünlük/Specificity değerleri ayrıca incelendi. Ayrıca, bu çalışmada dengesiz sınıf dağılımı olduğu için, Doğruluk/Accuracy değerinin başarı oranında Dengeli Doğruluk/Balanced Accuracy ve F1 Puanı/F1 Score yükseldiğinde düşüş olması ihtimali olduğu belirtildi.

3.1. Özellik seçimi (Feature Selection)

Tablo 4'te görüldüğü üzere, Pearson, Chi-2, Mutual-Info, RFE, Logistics, RF ve Anova F testleri ile özellik sayısı 5 olduğunda iken özellikler karşılaştırıldı. Değerler incelendiğinde, Cinsiyet, DoğumYeriBolge gibi demografik bilgilerin ve Osym Okul Birincisi ve Lise Okul Türü olan lise akademik bilgilerin de en az etkili olan özellikler olduğu görüldü. Bu değerlere göre, 1., 2. ve 3. yöntemler 7 özellikli ve 5 özellikli olarak çalıştırılarak hem test sonuçları hem de sağlamlık sonuçları elde edildi ve karşılaştırma tabloları oluşturuldu.

Tablo 4. Özelliklerin feature=5 olduğunda önem sıralamalarına göre karşılaştırmalı tablosu (Comparative table of features in order of importance when feature=5)

Feature	Pearson	Chi-2	Mutual-Info	RFE	Logistics	RF	Anova F Test	Total
MtokOgrencisi	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet	Hayır	Evet	6
YerBolumTercihSirasi	Hayır	Evet	Hayır	Evet	Evet	Evet	Evet	5
LiseNotu	Evet	Hayır	Evet	Evet	Hayır	Evet	Evet	5
BirimAdi	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet	Hayır	Hayır	5
YerPuaniSirasi	Evet	Hayır	Evet	Hayır	Hayır	Evet	Evet	4
KayitYili	Evet	Hayır	Evet	Hayır	Hayır	Evet	Evet	4
MarmaraUniYerlestirmeSirasi	Hayır	Hayır	Hayır	Evet	Hayır	Evet	Hayır	2
OsymOkulBirincisi	Hayır	Evet	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır	1
LiseOkulTuru	Hayır	Evet	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır	1
DogumYeriBolge	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır	0
Cinsiyet	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır	0

3.2. 11, 7 ve 5 özellik içeren verinin 1. yöntemle göre model sonuçları (Model results of data containing 11, 7 and 5 features according to method 1)

7 ve 5 özellik kullanılarak yapılan modellerin sonuçlarının 11 özellik içeren 1. yöntem modelinin F1 Score başarı ve sağlamlık sonuçlarıyla kıyas tablosu Tablo 5.'te gösterildi. Bu tabloya göre 7 özellik ile elde edilen değerlerin, 11 özellik ile elde edilen değerlerle oldukça benzerlik gösterdiği görüldü. Adaboost ve SVM algoritmalarında ciddi yükseliş olduğu görüldü. Adaboost sağlamlık değerinde de ciddi yükseliş oldu. Bununla beraber, RF, MLP, GradientBoost, ET, BalancedBagging ve Bagging_DT algoritmaları neredeyse aynı sonucu verdi. Bu tabloya bakıldığında, model olarak 7 özellikli kullanılması maliyet ve zaman açısından oldukça mantıklı görüldü.

3.3. 11, 7 ve 5 özellik içeren verinin 2. yöntemle göre model sonuçları (Model results of the data containing 11, 7 and 5 features according to the 2nd method)

7 ve 5 özellik kullanılarak yapılan modellerin sonuçlarının 11 özellik içeren 2. yöntem modelinin F1 Score başarı ve sağlamlık sonuçlarıyla kıyas tablosu Tablo 6.'da gösterildi. Tablo 3.13 ve Tablo 3.12 deki değerler karşılaştırıldığında, sadece eğitim setine yapılan yeniden örnekleme neticesinde ve sağlamlık sonuçlarına göre, 1. yöntem ile oluşturulan modellerin değerlerini kullanmak, maliyet ve zaman açısından daha verimli olduğu görüldü. Çünkü en yüksek değerlerin 1. ve 2. yöntem sonuçlarında hemen hemen aynı olduğu görüldü.

Tablo 5. 11, 7 ve 5 özellik içeren verinin 1. yöntemle göre modellendiğinde elde edilen sonuçlar (The results obtained when the data containing 11, 7 and 5 features are modeled according to the 1st method)

1. Yöntem			11 özellik		7 özellik		5 özellik	
	Model	Yöntem	Test F1 Score	Robustness F1 Score	Test F1 Score	Robustness F1 Score	Test F1 Score	Robustness F1 Score
1	AdaBoost	None	0.7748	0.6864	0.8126	0.7501	0.7663	0.7200
2	Bagging_DT	None	0.8302	0.7719	0.8199	0.7696	0.7634	0.6740
3	Bagging_SVC	None	0.7712	0.7612	0.7374	0.6086	0.6369	0.2530
4	BalancedBagging	None	0.8154	0.7582	0.8050	0.7581	0.7280	0.4853
5	Balanced-RF	None	0.6410	0.4943	0.6372	0.5224	0.5594	0.3955
6	BernoulliNB	None	0.5082	0.3989	0.5250	0.2893	0.5579	0.2644
7	DT	None	0.7698	0.7089	0.7062	0.7083	0.6782	0.5301
8	Easy Ensemble	None	0.5908	0.4468	0.5995	0.4578	0.5185	0.4484
9	ET	None	0.8187	0.7704	0.8222	0.7713	0.7819	0.6757
10	GaussianNB	None	0.6976	0.6366	0	0.7714	nan	0.7618
11	Gradient Boost	None	0.8250	0.7408	0.8264	0.7487	0.7716	0.7322
12	KNN	None	0.7577	0.7180	0.7729	0.7185	0.7327	0.6118
13	LR	None	0.8188	0.7282	0	0.7714	nan	0.7597
14	MLP	None	0.8255	0.7714	0.8285	0.7714	0.7719	0.7049
15	RF	None	0.8341	0.7685	0.8292	0.7666	0.7891	0.7013
16	SVM	None	0.7676	0.7508	0.8248	0.6076	0.7657	0.6699
En yüksek değerler:			0.82 - 0.83	0.77	0.82 - 0.83	0.77	0.77 - 0.78	0.70 - 0.76

Tablo 6. 11, 7 ve 5 özellik içeren verinin 2. yöntemle göre modellendiğinde elde edilen sonuçlar (The results obtained when the data containing 11, 7 and 5 features are modeled according to the 2nd method)

2. Yöntem		11 özellik ile		7 özellik ile		5 özellik ile	
Model	Yöntem	Test F1 Score	Robustness F1 Score	Test F1 Score	Robustness F1 Score	Test F1 Score	Robustness F1 Score
AdaBoost	ROS	0.7734	0.7299	SVM SMOTE	0.7761 0.7248	Borderline SMOTE2	0.6879 0.3171
Bagging_DT	SVM SMOTE	0.8203	0.7531	SVM SMOTE	0.7973 0.7474	ROS	0.7287 0.5884
Bagging_SVC	SVM SMOTE	0.7501	0.7465	Borderline SMOTE2	0.7344 0.5372	Borderline SMOTE2	0.6916 0.4053
BernoulliNB	SVM SMOTE	0.6521	0.6524	SVM SMOTE	0.6010 0.5313	SVM SMOTE	0.5961 0.3898
Decision Tree	BorderlineSMOTE2	0.7803	0.7135	SMOTENC	0.7621 0.6228	ROS	0.6968 0.6856
Extra Trees	ROS	0.8196	0.7713	ROS	0.8221 0.7714	SMOTENC	0.7171 0.4017
GaussianNB	SVM SMOTE	0.5776	0.5133	ROS	0.5996 0.4696	SVM SMOTE	0.5985 0.3724
Gradient Boost	SVM SMOTE	0.8194	0.7179	SVM SMOTE	0.8138 0.7276	SVM SMOTE	0.7189 0.4564
KNN	ROS	0.7522	0.7147	ROS	0.7729 0.7185	ROS	0.7327 0.6118
LR	SVM SMOTE	0.7451	0.6420	SVM SMOTE	0.7317 0.6999	SVM SMOTE	0.6934 0.3784
MLP	SVM SMOTE	0.7982	0.7702	ROS	0.8195 0.7726	SVM SMOTE	0.7223 0.3300
RF	ROS	0.8263	0.7705	ROS	0.8174 0.7714	Borderline SMOTE1	0.7258 0.5851
SVM	SVM SMOTE	0.7568	0.7501	SVM SMOTE	0.7503 0.6544	SVM SMOTE	0.7130 0.3201
En yüksek değerler:		0.82 - 0.83	0.77		0.82 0.77		0.72 - 0.73 0.68

3.4. 11, 7 ve 5 özellik içeren verinin 3. yöntemine göre model sonuçları (Model results of data containing 11, 7 and 5 features according to the 3rd method)

7 ve 5 özellik kullanılarak yapılan modellerin sonuçlarının 11 özellik içeren 3. yöntem modelinin F1 Score başarı ve sağlamlık sonuçlarıyla kıyas tablosu Tablo 7'de gösterildi.

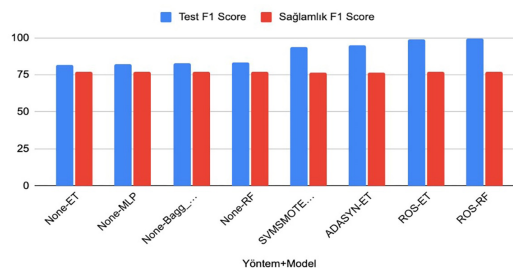
Tablo 7. 11, 7 ve 5 özellik içeren verinin 3. yöntemine göre modellendiğinde elde edilen sonuçlar (The results obtained when the data containing 11, 7 and 5 features are modeled according to the 3rd method)

3. Yöntem	11 özellik ile		7 özellik ile		5 özellik ile				
	Yöntem	Test F1 Score	Robustness F1 Score	Yöntem	Test F1 Score	Robustness F1 Score	Yöntem	Test F1 Score	Robustness F1 Score
AdaBoost	ROS	0.9542	0.7101	SMOTENC	0.6546	0.3978	SMOTEENN	0.6387	0.3043
Bagging_DT	SVM SMOTE	0.7884	0.7468	ROS	0.9599	0.7547	ROS	0.9342	0.5390
Bagging_SVC	SMOTEENN	0.9697	0.6866	SMOTEENN	0.8488	0.4840	SMOTEENN	0.7581	0.2027
Bernoulli NB	SVM SMOTE	0.6824	0.6314	SVM SMOTE	0.5735	0.4105	SVM SMOTE	0.5806	0.3635
Decision Tree	ROS	0.8790	0.6836	BorderlineSMOTE2	0.7742	0.7401	SMOTEENN	0.8814	0.3287
ExtraTrees	ROS	0.9917	0.7713	ROS	0.9929	0.7713	ROS	0.9842	0.6649
Gaussian NB	SVM SMOTE	0.6324	0.4832	SVM SMOTE	0.5687	0.4138	SMOTEENN	0.6038	0.2043
Gradient Boost	SVM SMOTE	0.8349	0.7031	SVM SMOTE	0.7765	0.7125	SMOTEENN	0.7441	0.2947
KNN	SMOTEENN	0.9883	0.5293	SMOTEENN	0.9866	0.5284	SMOTEENN	0.9826	0.3352
LR	SVM SMOTE	0.7193	0.6617	SMOTEENN	0.5967	0.4355	SMOTEENN	0.6306	0.1805
MLP	SVM SMOTE	0.6951	0.7721	SVM SMOTE	0.6080	0.7714	SMOTEENN	0.5678	0.1458
RF	ROS	0.9935	0.7709	ROS	0.9870	0.7706	ROS	0.9719	0.6574
SVM	SMOTEENN	0.9862	0.7216	SMOTEENN	0.8718	0.5364	SMOTEENN	0.7723	0.1813
En yüksek değerler:		0.99	0.77		0.99	0.77		0.97-0.98	0.65-0.66

Tablo 3.14, Tablo 6 ve Tablo 5'teki değerler karşılaştırıldığında, tüm veri setine yapılan yeniden örnekleme neticesinde ve sağlamlık sonuçlarına göre, 1. yöntem ile oluşturulan modellerin değerlerini kullanmak, maliyet ve zaman açısından daha verimli olduğu görüldü. Çünkü en yüksek değerlerin 1. ve 3. yöntem sonuçlarında hemen hemen aynı olduğu görüldü.

Ek olarak, tablolar incelendiğinde, 5 özellik ile model geliştirildiğinde, hem test F1 Score değerinde, hem de sağlamlık testlerinde ciddi düşüşler oldu. Ancak 7 özellik ile yapılan sonuçların, 11 özellik kullanarak yapılan sonuçlarla benzer olduğu görüldü.

Sonuç olarak Tablo 5'de belirtilen en başarılı ve en tutarlı ilk 4 modelin, 7 özelliikle oluşturulan modelin değerleri arasındaki F1 Score Başarı Oranı ve tutarlılık değeri yakın olduğu görüldü. Şekil 9'da görüldüğü üzere bu modellere ait 7 özellik içeren modellerin web uygulamasında kullanılmasına karar verildi. ET, MLP, Bagging_DT ve RF algoritmalarıyla 1. yöntem olan ve yeniden örnekleme yapılmadan oluşturulan 7 özellikli modeller, karar destek sistemi web uygulamasında kullanıldı.



Şekil 9. En başarılı ve en tutarlı modellerin test ve sağlamlık F1 Score yüzdeleri (Testing and robustness F1 Score percentages of the most successful and consistent models)

4. Çalışmanın Güçlü ve Zayıf Yönleri (Strengths and Aspects of the Study)

Güçlü Yönler;

- Bu çalışmaya başlamadan önce sistematik literatür incelemesi yapıldı.
- Literatürde daha önce kullanılmayan yeni bir veri seti ile çalışma yapıldı.
- MÜ'nde alanında yapılan ilk çalışma oldu.
- Türkiye'deki tezlerde çok sınıflı ve dengesiz eğitimsel veri kümesi kullanılarak daha önce tez çalışması yapılmadı.
- Öğrenciler henüz kayıt olmadan, erken uyarı sistemi olarak çalışma yapıldı ve bu şekilde de literatürde çalışmanın yok denecek kadar az olduğu görüldü.
- Topluluk algoritmalarıyla, hem çok sınıflı hem dengesiz veri hem de eğitimsel verisinde kabul edilebilir, başarılı sonuçlar elde edildi.
- En başarılı ve en tutarlı modellerle pilot bir karar destek sistemi web uygulaması yapıldı ve MÜ TF öğretim üyelerinin kullanımına sunuldu.

Zayıf Yönler;

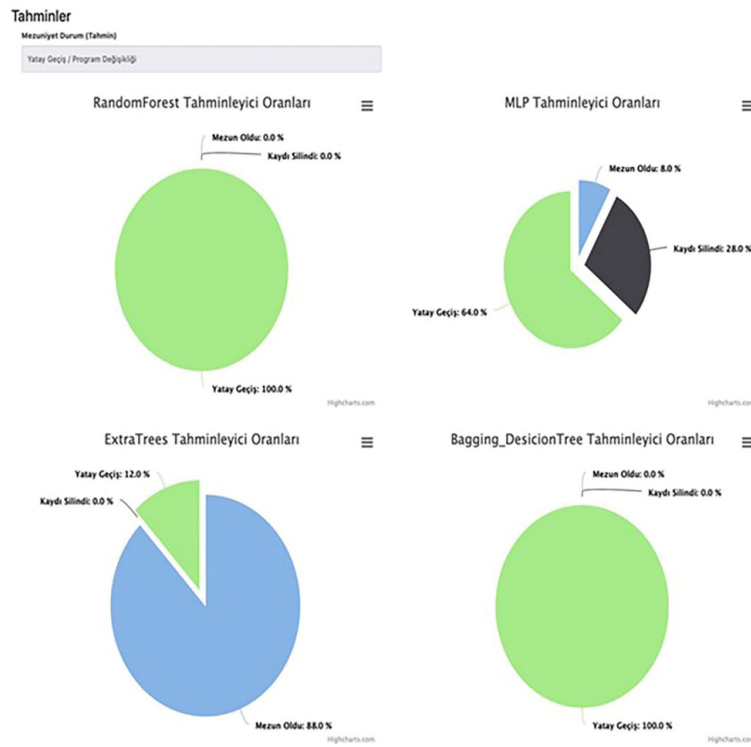
- MÜ TF yeni açılmış bir fakülte'dir ve henüz çok fazla mezun vermedi.
- Bölümler aynı yılda açılıp, aynı yılda mezun vermeye başlamadı.
- Af, mühendislik tamamlama gibi farklı türdeki öğrenciler de veri kümesinde yer aldı.
- Çalışmada kullanılan toplam öğrenci sayısı 1394 oldu ve veri kümesi sınıf dengesizliğine sahipti. Daha çok öğrenci bilgisi içeren bir veri seti ile çalışmak daha başarılı sonuçlar verebilir diye düşünüldü.
- Bazı algoritmalar, çok sınıflı ve dengesiz veri setinde başarılı sonuç vermedi.

5. Web Uygulaması (Web Application)

Tartışmalar bölümünde yapılan incelemeler ve karşılaştırmalar sonucunda, oluşturulan karar destek sistemi web uygulaması için seçilen modeller, yeniden örnekleme yapılmadan, 7 özellikle oluşturulan ve Şekil 9'da F1 Score değerleri gösterilen None-RF, None-MLP, None-Bagging_DT ve None-ET algoritmalarına ait modeller oldu.

Web uygulaması için, Django Python frameworku kullanıldı, Docker üzerinde çalıştırıldı. Başlangıçta, yetkilendirme ile sayfaya giriş yapılması sağlandı. Böylece, web uygulamasındaki güvenlik üst düzeye çıkarıldı. Şekil 10.'daki gibi, öğrenciye ait 7 özellik bilgisinin ekrandan girilmesi sağlandı ve tahmin et butonu ile girilen özellik bilgilerine göre, 4 model ayrı ayrı tahmin yaparak, sonuçları grafik şeklinde Şekil 11.'deki gibi gösterildi. Bu pilot çalışma, MÜ TF öğretim üyelerinin, kullanabileceği bir uygulama olarak geliştirildi.

Şekil 10. Karar Destek Sistemi web uygulamasında öğrenci bilgilerinin girildiği sayfa (The page where student information is entered in the Decision Support System web application)



Şekil 11. Karar Destek Sistemi web uygulamasında yapılan tahmin sonuçları (Prediction results made in Decision Support System web application)

6. Sonuçlar ve Karşılaştırma (Results and Comparison)

Eğitimsel Veri Madenciliği (EDM) disiplininin bir alt dalı olan öğrenci performans tahmini ile ilgili yapılan çalışmalar son yıllarda arttı. Yapılan literatür taramasında, bu alanda çok sınıflı ve dengesiz eğitimsel veri kümesi ile ilgili yapılan çalışmaların oldukça az olduğu görüldü. Ayrıca bu şekilde veri kümesiyle henüz bölüme kayıt olmayan öğrencilerin mezuniyet tahminini yapan erken uyarı sistemi şeklinde bir çalışma yok denecek kadar az olduğu görüldü. Literatürdeki bu boşluğun doldurulması amacıyla, bu tez çalışmasında, çok sınıflı ve dengesiz eğitimsel veri kümesi kullanarak, öğrenciler henüz üniversiteye başlamadan riskli öğrencilerin mezuniyet tahminini yaparak, bu öğrencilerin risklerini engelleyebilecek bir karar destek öneri sistemi çalışması yapıldı. Bu çalışmada, 23.05.2022-286783 etik no kararı ile MÜ TF öğrenci verileri kullanıldı. MÜ TF 2010-2021 yıllarında öğrenim gören, 6 bölüme ait 4023 öğrenci içerisinden, ön işlem aşamasından sonra kalan 1394 öğrenci ve 11 özellik üzerinde çalışıldı.

Kullanılan veri kümesi çok sınıflı ve sınıf dengesizliği olan eğitimsel bir veri kümesi oldu. Çok sınıflı, dengesiz bir EDM veri kümesi üzerinde yapılan araştırmada, başarı tahminine yönelik önerilen model, birkaç yöntem kullanarak geliştirilen modeller arasında en başarılı sonuç veren yöntem üzerine inşa edildi. Bu yöntemlerden birincisi, topluluk yöntemleri kullanarak başarı tahminini yapmak oldu. Bir diğeri, yeniden örnekleme yöntemleriyle beraber kullanılan geleneksel sınıflandırma algoritmaları ile model üretmek oldu. Ve sonuncusu ise, dengesiz veri setlerinde kullanmak üzere modifiye edilmiş topluluk metotlarıyla model üretmek oldu.

Toplamda, 9 tane yeniden örnekleme yöntemi kullanıldı. 3 tane modifiye edilmiş topluluk algoritması, 7 tane geleneksel sınıflandırma algoritması, 6 tane topluluk algoritması olmak üzere 16 farklı algoritma ile çalışıldı ve karşılaştırmalar yapıldı. Kategorik veriler üzerinde One-Hot-Encoding ile özellik mühendisliği yapıldı ve veriler [0, 1] aralığına normalizasyon ile getirildi. Daha sonra eğitim aşamasında algoritmalar için GridSearchCV kullanılarak hiper-parametre ayarlaması yapıldı. 2016 yılında kayıt olan 153 öğrenci sağlamlık verisi olarak ayrıldı. Dengesiz veri setleri kullanımında uygun olduğu için repeated stratified 5*5-fold cross-validation kullanıldı. Bu aşamada oluşturulan tüm modeller, sağlamlık kontrolü için kayıt edildi. Ve tüm değerlerin ortalaması alınarak, son model başarı değerleri belirlendi.

Elde edilen sonuçlar ile çok sınıflı dengesiz eğitimsel veri kümesinde, topluluk algoritmalarının, yeniden örnekleme yöntemiyle beraber kullanılan geleneksel sınıflandırma algoritmalarından daha başarılı olduğu görüldü. Modellerin başarılı olmasıyla beraber, tutarlı olması da bu tez çalışmasında incelendi. Daha sonra Pearson, Chi-2, Mutual-Info, RFE, Logistics, RF ve Anova F testleri olmak üzere 7 farklı özellik seçimi algoritması kullanılarak, FS karşılaştırması yapıldı. Her 3 yöntem de, 7 özellik ve 5 özellik için tekrar çalıştırıldı ve sağlamlık testleri yapıldı.

Sonuç olarak RandomOverSampler+RandomForest F1 Score 0.9935 değeriyle en başarılı algoritma olmasına rağmen, sırasıyla en tutarlı olan None+ExtraTrees F1 Score 0.8187, None+MLP F1 Score 0.8255, None+Bagging_DesicionTree F1 Score 0.8302 ve None+RandomForest F1 score 0.8341 değeriyle en tutarlı 4 model olduğu görüldü. Bu modellerin 11 özellikli ve 7 özellikli değerleri birbirine çok yakın olduğu tespit edildi. Bu nedenle maliyet, zaman açısından düşünüldüğünde, 7 özellikli oluşturulan modellerin kullanılmasına karar verildi.

Son olarak, en başarılı ve en tutarlı 4 model ile MÜ TF Öğretim Üyelerinin kullanabileceği pilot bir "Karar Destek Sistemi Web Uygulaması" yapıldı. Bu uygulamada, yetkiye bağlı olarak, öğretim üyeleri, öğrenci bilgilerini girerek, 4 tahminleyici üzerinden öğrenci mezuniyet tahmini bilgisini aldı.

Bu bağlamda, bu çalışma ve literatür çalışmaları arasında bazı benzerliklerin ve farklılıkların olduğu görüldü. Öncelikle kullanılan veri kümeleri farklı olduğu için sonuçlarla ilgili karşılaştırma yapılmadı ancak literatürdeki çalışmaların başarı değerlerine benzer ve yüksek başarı değerleri elde edildi. Çok sınıflı dengesiz veri kümesi ile ilgili kullanılan yöntemlerin benzer olduğu görüldü. Yani, hem tüm veri setine örnekleme yapılması literatürdeki çalışmalarda da kullanıldı hem de bu çalışmada kullanılan makine öğrenmesi algoritmaları ve örnekleme yöntemleri farklı farklı literatürdeki çalışmalarda kullanıldı. Ancak literatürden farklı olarak daha tutarlı olduğu gözlemlenen, sadece eğitim veri kümesine örnekleme yöntemlerinin uygulanması, yöntem olarak bu çalışmada kullanıldı. Ayrıca literatürdeki çalışmalardan farklı olarak bu çalışmada sağlamlık kontrolü yapıldı ve en başarılı algoritmaların tutarlı olup olmadığı kontrol edildi. Ayrıca literatürdeki çalışmalardan farklı olarak dengesiz veri kümesinde kullanımı daha uygun olan Repeated Stratified 5*5-fold cross-validation yöntemi bu çalışmada kullanıldı. Ayrıca literatürdeki çalışmalardan farklı olarak, en tutarlı modellerin kullanıldığı karar destek sistemi web uygulaması yapıldı. Yine 7 farklı özellik seçim yöntemleri kullanarak elde edilen veri uzunluğu aynı ancak özellik sayısı farklı toplam 3 farklı veri kümesi ile tüm yöntemler denenerek sonuçların karşılaştırılması literatürden farklı olarak bu çalışmada yapıldı.

Gelecekte, çalışmanın geliştirilebilir yönleri olarak öncelikle çalışmanın zayıf yönleri belirlendi. Ayrıca dengesiz veri kümesine karşı daha dayanıklı algoritmaları çalışmaya dahil ederek başarının artıp artmadığı test edilebilir. Yine çalışmaya dahil edilmeyen ama literatürde güncel olan örnekleme yöntemleri sisteme eklenip, başarının artıp artmadığı test edilebilir. MÜ'nden başarı durumunu daha belirgin tahmin etmemizi sağlayacak yeni özellikler içeren veri listesi alınarak veri ön işleme ve özellik seçimi kısmı çalışmada geliştirilebilir. Anomali tespiti gibi farklı kapsamlardaki çalışmalara ait yöntemler incelenerek çok sınıflı dengesiz eğitimsel veri kümesinde denenerek başarının artıp artmadığı test edilebilir. Literatürdeki çalışmalarda kullanılan öncelikle açık kaynak veri kümeleri ile bu çalışmanın yöntem bölümü test edilerek, bu çalışmanın yönteminin genelleştirilebilirliği tartışılabilir. Ayrıca önerilen çözümün genelliğini değerlendirmek için bu çalışma MÜ'nin diğer bölümlerine ve başka üniversitelere de uygulanarak, birçok öğrenciden elde edilen veriler üzerinde daha fazla araştırma yapıp, oluşturulan sistemin genelleştirilip genelleştirilemeyeceği araştırılabilir. Sadece öğretim üyelerinin kullanımına sunulan karar destek sistemi pilot web uygulaması, öğrencilerin de kullanabileceği şekilde geliştirilebilir.

Son olarak, çok sınıflı dengesiz eğitimsel veri kümesi kullanarak yapılan bu çalışma ulusal alanda alanında tek olması dolayısıyla, gelecekteki çalışmalar için bu çalışmanın ilham kaynağı olduğuna inanılmaktadır.

Teşekkür (Acknowledgment)

Bu çalışmada, 23.05.2022-286783 etik no kararı ile Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi öğrenci verilerinin kullanılmasına müsaade eden Marmara Üniversitesi rektörü Sayın Prof. Dr. Mustafa Kurt Hocamıza teşekkür ederiz. Ayrıca bu çalışmada maddi bir destek alınmamıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı (Conflict of Interest Statement)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması bildirilmemiştir.

Kaynaklar (Resources)

- [1] Mevzuat, "Yükseköğretim Kanunu," 2022. [Çevrimiçi]. Erişilebilir: <https://www.mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/1.5.2547.pdf>, [Erişim tarihi: 25.04.2022].
- [2] A. Hancı Karademirci, "Öğretim teknolojileri: tanımı ve tarihsel gelişimine yeniden bakmak," in *Akademik Bilişim'10 – XII. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri*, Muğla Üniversitesi, Şubat 10-12, 2010, ss. 397-403.
- [3] Datamining, "EDM Tanımı" 2022. [Çevrimiçi]. Erişilebilir: <https://educationaldatamining.org/>. [Erişim tarihi: 25.04.2022].
- [4] M. Kuhn ve K. Johnson, *Applied predictive modeling*, Vol. 26. New York: Springer, 2013. doi:10.1007/978-1-4614-6849-3
- [5] D. Çelik, "11. sınıf öğrencilerinin düşünme stilleri, öğrenme stratejileri ve düşünme stilleri ile öğrenme stratejileri arasındaki ilişki," Yüksek Lisans tezi, Pamukkale Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 2016.
- [6] A. Fernández, S. García, M. Galar, R.C. Prati, B. Krawczyk ve F. Herrera. Learning from Imbalanced Data Sets. vol. 10. Springer International Publishing, 2018.
- [7] A. Dutt, M. A. Ismail, T. Herawan, "A systematic review on educational data mining," *IEEE Access*, Vol. 5, pp. 15991-16005, 2017. doi: 10.1109/ACCESS.2017.2654247.
- [8] M. Tatlıdil, "Veri Türleri ve İstatistiğe Giriş", Mayıs 15, 2020. [Çevrimiçi]. Erişilebilir: <https://mervetatlıdil.medium.com/veri-t%C3%BCrleri-ve-i%C3%87statisti%C4%9Fe-giri%C5%9F-2959f509f768>. [Erişim tarihi: 25.04.2022].
- [9] J. Brownlee, "One-vs-Rest and One-vs-One for Multi-Class Classification", Nisan 13, 2020. [Çevrimiçi]. Erişilebilir: <https://machinelearningmastery.com/one-vs-rest-and-one-vs-one-for-multi-class-classification/>. [Erişim tarihi: 25.04.2022].
- [10] A. Khan ve S.K. Ghosh, "Student performance analysis and prediction in classroom learning: A review of educational data mining studies," *Educ Inf Technol*, vol. 26, pp. 205–240, 2021. doi: 10.1007/s10639-020-10230-3.
- [11] Y. Prityanto, I. Pratama ve A. F. Nugraha, "Data level approach for imbalanced class handling on educational data mining multiclass classification," in *2018 International Conference on Information and Communications Technology (ICOIACT)*, March, 2018. pp. 310-314.
- [12] S. D. A. Bujang, A. Selamat, R. Ibrahim, O. Krejcar, E. Herrera-Viedma, H. Fujita, ve N. A. M. Ghani, "Multiclass prediction model for student grade prediction using machine learning," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 95608-95621, 2021.
- [13] R. Ghorbani ve R. Ghousi, "Comparing different resampling methods in predicting students' performance using machine learning techniques," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 67899-67911, 2020.
- [14] I. Pratama, Y. Prityanto, P. T. Prasetyaningrum, "Imbalanced Class handling and Classification on Educational Dataset," in *4th International Conference on Information and Communications Technology (ICOIACT)*, August, 2021. pp. 180-185.
- [15] V. T. N Chau ve N. H. Phung, "Imbalanced educational data classification: An effective approach with resampling and random forest," in *The 2013 RIVF International Conference on Computing & Communication Technologies-Research, Innovation, and Vision for Future (RIVF)*, November, 2013, pp. 135-140.
- [16] T. Purwoningsih, H. B. Santoso, K. A. Puspitasari and Z. A. Hasibuan "Early Prediction of Students' Academic Achievement: Categorical Data from Fully Online Learning on Machine-Learning Classification Algorithm," *Journal of Hunan University Natural Sciences*, vol. 48, no. 9, 2021.
- [17] T. Lenin, N. Chandrasekaran, "Learning from imbalanced educational data using ensemble machine learning algorithms," *Webology*, vol. 18, no. SI01, pp. 183-195, 2021.
- [18] E. Buraimoh, R. Ajoodha and K. Padayachee, "Application of machine learning techniques to the prediction of student success," in *2021 IEEE International IOT, Electronics and Mechatronics Conference (IEMTRONICS)*, 2021, pp. 1-6. doi:10.1109/IEMTRONICS52119.2021.9422545.
- [19] N. Rachburee, W. Punlumjeak, "Oversampling technique in student performance classification from engineering course," *International Journal of Electrical and Computer Engineering; Yogyakarta*, vol. 11, No. 4, pp. 3567-3574, August 2021.
- [20] E. Buraimoh, R. Ajoodha, K. Padayachee, "Importance of data re-sampling and dimensionality reduction in predicting students' success," in *2021 International Conference on Electrical, Communication, and Computer Engineering (ICECCE)*, June, 2021, pp. 1-6.

This is an open access article under the CC-BY license



GAZİ

JOURNAL OF ENGINEERING SCIENCES

The Effect of Die Geometry on Wall Thicknesses of Cup in Deep Drawing of Rectangular Cups

Cebeli Özek*^a

Submitted: 22.08.2022 Revised: 16.03.2023 Accepted: 19.03.2023 doi:10.30855/gmbd.0705054

ABSTRACT

Keywords: Wall thickness,
Angular deep drawing,
Limit drawing ratio,
Rectangular cups

^{a,*} Fırat University,
Technology Faculty,
Dept. of Mechanical Engineering
23119 - Elazığ, Türkiye
Orcid: 0000-0001-7603-415X
e mail: cozek@firat.edu.tr

*Corresponding author:
cozek@firat.edu.tr

Deep drawing is the process of producing cups using a punch to shape the desired shape by pushing the sheet from the center into the die cavity between the die and the blank holder. As the sheet flows into the die cavity between the punch and the die, the cup is formed by convert to the special shape of the die. This study was carried out to determine the effect of geometric parameters of the die on the limit drawing ratio and cup wall thinning in deep drawing of rectangular cups. In the study, angles of $\alpha=0^\circ$, $\alpha=3^\circ$, $\alpha=6^\circ$ and $\alpha=9^\circ$ are given to the die upper surface/blank holder lower surface. The blank holder force and punch speed has applied to 1800 daN and 4 mm/s, respectively. The gap between the die/punch is 1.2 mm. The bottom of punch and edge radii and the die throat radii were used at 6 mm. St37 steel sheet with a thickness of 0.9 mm was used in the experiments. In order to determine the wall thickness changes of the cups, the cup was precisely cut from the edge corners along its height and the wall surface was divided into grids at 10x10 mm intervals from the end of the base radii towards the rim. Wall thickness changes were measured on Mitutoyo LH-600E precision linear measuring gauge with a precision of 0.001 with a point contact. Significant wall thickness changes is occurred in the cups and ranged from 0.371 to 0.910 mm. The maximum wall thickness change occurred in the lower corners of the cup and was determined as 0.373 mm. The limit drawing ratio has been obtained $\beta=1.6$ at $\alpha=0^\circ$ and $\beta=2.31$ for $\alpha=9^\circ$. As a result, it has been determined that the die geometry has a significant effect on the limit drawing ratio and wall thickness changes by giving angles to the upper surface of the die and the lower surface of the blank holder for the production rectangular cup.

Dikdörtgen Kapların Derin Çekilmesinde Kalıp Geometrisinin Kap Cidar Kalınlıkları Üzerindeki Etkisi

ÖZ

Derin çekme, sacı merkezden matris-pot çemberi arasında kalıp boşluğuna iterek istenen şekle getirmek için stampa kullanılarak kapların üretilmesi işlemidir. Stampa ve kalıp arasında sac kalıp boşluğuna aktığı sırada kalıbın özel şeklini alarak kap oluşmaktadır. Bu çalışmada dikdörtgen kapların derin çekilmesinde kalıbın geometrik parametrelerinin limit çekme oranı ve kap kesit incelmeleri üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Çalışmada, matris üst yüzeyine/pot çemberi alt yüzeyine $\alpha=0^\circ$, $\alpha=3^\circ$, $\alpha=6^\circ$ ve $\alpha=9^\circ$ ’lik açılar verilmiştir. Baskı plakası kuvveti 1800 daN ve stampa hızı da 4 mm/s uygulanmıştır. Matris/stampa arası boşluk 1.2 mm dir. Stampa uç ve kenar radyüsleri ile matris ağız radyüsleri 6 mm alınmıştır. Deneylerde kalınlığı 0,9 mm olan St37 çeliğinden sac kullanılmıştır. Kaplardaki cidar kalınlık değişimlerinin tespit edilmesi amacıyla kap hassas bir biçimde yüksekliği boyunca kenar köşelerinden kesilmiş ve duvar yüzeyi taban radyüsü bitiminden ağız kısmına doğru 10x10 mm aralıklarla ızgaralara bölünmüştür. Kalınlık değişimleri Mitutoyo LH-600E hassas doğrusal ölçüm mihengiri cihazında noktasal temaslı uç ile 0.001 hassasiyetinde ölçülmüştür. Kaplarda önemli kalınlık değişimleri meydana gelmiş ve 0,371-0,910 mm aralığında olmuştur. Maksimum kalınlık değişimi kabin alt köşelerinde meydana gelmiş ve 0,373 mm olarak belirlenmiştir. Limit çekme oranı, $\alpha=0^\circ$ ’de $\beta=1,6$ iken $\alpha=9^\circ$ için $\beta=2,31$ olarak elde edilmiştir. Sonuç olarak, dikdörtgen kesitli kapların üretilmelerinde, matris üst yüzeyine/pot çemberi alt yüzeyine açılar verilerek kalıp geometrisinin, limit çekme oranı ve kap cidar kalınlık değişimleri üzerinde önemli bir etkisinin olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Cidar kalınlığı, Açılı derin çekme, Limit çekme oranı, Dikdörtgen kesitli kaplar

1. Giriş (Introduction)

Derin çekme, zımba kuvveti uygulanarak malzemenin kalıp boşluğuna akışıdır. Limit çekme oranı ve kalınlık dağılımı herhangi bir malzeme için şekillendirilebilirlik göstergeleridir. Derin çekmede, düz ince tabakalar arasında sacı istenen şekle getirmek için bir zımba kullanılarak sacı merkez kısmından kalıp boşluğuna iterek kaplar üretilmektedir. Baskı plakası, buruşmayı önlemek ve kalıp boşluğuna malzeme akışını kontrol etmek için gerekli olan baskı plakası kuvvetini oluşturmaktadır. Zımba, sacı kalıp boşluğuna doğru iterken aynı anda zımba ve kalıp arasında sac kalıp boşluğuna doğru aktığı sırada kalıbın özel şeklini alarak kap oluşmaktadır. Sac şekillendirme işlemleri doğal olarak bir çekme işlemidir. Tek bir aşamada elde edilebilecek deformasyon miktarı çekme kararsızlığı, kulaklanma veya yırtılma ile sınırlandırılabilir. Böylece gerekli kaplar minimum hata ve hasarsız bir biçimde elde edilebilirler.

Otomotiv ve uzay endüstrisinde sac şekillendirme işlemi yaygın olarak kullanılan bir imalat yöntemidir. Sac şekillendirme sac malzemenin, boyun verme, çatlak gibi herhangi bir hasar olmaksızın, istenilen şekle dönüştürmek amacıyla plastik olarak deforme olduğu bir deformasyon işlemidir [1]. Derin çekme işlemleri, otomotiv gövdeleri, yapısal parçalar, mutfak eşyaları ve içecek kutuları gibi hafif, daha yüksek mukavemetli, düşük yoğunluklu ve korozyona dayanıklı ürünler üretmek için sacın bir zımba kuvvetinin etkisi ile kalıp boşluğuna itilerek sac metalin istenen şekle dönüştürüldüğü üretim yöntemleridir [2]. Metal şekillendirme işlemlerinde en önemli model olan sonlu elemanlar metodunda (SEM), sayısal hesaplama veya bilgisayar destekli mühendislik (BDM), ürün geliştirme maliyetlerini düşürmekte ve zaman kaybını önlemektedir. Aynı zamanda en düşük maliyette gerekli düzeltmeleri ve iyileştirmeyi yapmak için her adımda geri bildirimde bulunan ve ürün geliştirmenin ilk aşamasından simülasyon tekniklerine kadar verimli kullanımını da gerektirmektedir [3]. Zaman ve maliyetin yanı sıra derin çekme işlemi geometrik ve malzeme parametrelerinden etkilenir. Kalıp boşluğu, zımba ucu yarıçapı, kalıp yarıçapı ve zımba boyutları gibi geometrik parametrelerin etkisi önemlidir. Ayrıca geometrik parametreler kadar elastikiyet gibi malzeme özellikleri, plastisite ve anizotropinin de etkisi vardır. Bu parametrelerin yanlış tespit edilmesi buruşma, yırtılma, kulaklanma ve geri yaylanma gibi hasarların oluşması ile sonuçlanmaktadır [4]. Zein vd. derin çekme işlemi için sonlu elemanlar yöntemi ile kalıp tasarım parametreleri ile işlenmiş parçanın tahmini incelleme ve kalınlık dağılımını incelemişlerdir [5]. Reddi vd. sac şekillendirme işlemi sırasında kalınlık değişimi üzerinde geometrik parametrelerin etkisini analiz etmek için bir deneysel ve analiz çalışması uygulamışlardır [6]. Şekillendirme işlemi yoluyla kaliteli ürünün geliştirilmesi için ilkel sacın son geometrisinin doğru bir şekilde belirlenmesi önemlidir. Geometrisi doğru belirlenmeyen bir ilkel sac çekme sırasında gerinim ve gerilmelerin dağılımına yol açar. Hafif ve mekanik özellikleri yüksek olan malzemelere talep gün geçtikçe artmaktadır. Alüminyum ve alüminyum alaşımları iyi korozyon direnci, düşük sıcaklıklarda yüksek mukavemet ve iyi süneklik özellikleri nedeniyle mühendislik tasarımlarında yaygın olarak kullanılmaktadır [7]. Birçok üretim alanında alüminyum ve alüminyum alaşımlarında sac şekillendirme hızlı teknolojik gelişmeler ve ürün maliyetinin düşürülmesi kilit faktörler haline gelmiştir [8].

Derin çekme, basit ve geniş olarak kullanılan şekillendirme yöntemlerinden biridir. Düz bir yüzey üzerindeki zımba basıncından oluşur [9]. Sac parça olduğu gibi zımba aracılığı ile zımba ve kalıbın yüzeyleri arasında 3 boyutlu bir şekilde akarak zımba tarafından kalıp boşluğuna itilmekte ve ürünü elde etmek için taslak parça kalıp ve baskı plakası arasında baskı plakası kuvveti ile sıkıştırılmaktadır [10]. Bouchaala vd. AA2090 Al-Li alaşımının sonlu elemanlar metodu ile derin çekme modelinde kalınlık dağılımı üzerinde anizotropik ve izotropik verim fonksiyonlarının etkisini araştırmışlardır [11]. Anizotropinin, sac metallerin şekillendirilmesinde ve tanımlanmasında büyük bir etkisi vardır ve bu nedenle üretim süreçlerinin doğru tasarımı önemlidir. Sac metalin şekillendirilebilirliğindeki anizotropi, şekillendirme işlemi sırasında plastik deformasyon ile ilk anizotropiye yol açan termomekanik işleme geçmişinin bir kombinasyondur [12]. Das vd. sonlu elemanlar metodunu kullanarak ve HYPERWORKS-6.10 yazılımı ile modellenen silindirik derin çekme kaplarındaki kulaklanmaları analiz etmişlerdir [13]. Pawan vd. ABAQUS yazılımı yardımıyla kulaklanma yüksekliği yüzdesini azaltmak için ilkel parçanın başlangıçtaki boyutlarının ve şeklinin değiştirilmesini sayısal olarak geliştirmiş ve tespit etmişlerdir [14]. Bouchaala vd. ABAQUS sonlu elemanlar yazılımını kullanarak AA1050 ve AA1100 alüminyum alaşımları için 3B silindirik derin çekme modelinin simülasyonunu yapmışlardır. Derin çekme işleminde kulaklanma hasarlarını tahmini olarak araştırmışlar, zımba köşe radyüsü ve kalıp radyüsünün kaptaki kulaklanmalar üzerindeki etkisini analiz ederek ve yüzde kulaklanma yüksekliklerini en aza indirmek için sayısal bir model geliştirmişlerdir [15].

Son yıllarda, derin çekme süreci ile imalatın birçok endüstride geniş bir uygulama yelpazesine sahip olduğu kanıtlanmıştır. Farklı boyutlarda çeşitli simetrik veya asimetrik metal saclardan kapları hasarsız ve istenilen boyutta üretme yeterliği birçok araştırma çalışmasının ilgisini çekmiştir [16]. Derin çekme ile imalatın mutfak eşyaları, otomotiv, uzay ve savunma gibi birçok alanda, havacılık ve özellikle gıda ambalaj endüstrilerinde yaygın uygulamaları vardır [17]. Colgan vd. derin çekme işlemlerinin deneysel ve sonlu eleman analizi (SEA) çalışmalarını birleştirmeye yönelik ilk çalışmaları yapmışlardır. Çalışmada, derin çekme işlemi üzerinde zımba ve kalıp radyüsü, zımba hızı, zımba kuvveti, sürtünme ve çekme derinliğinin etkisini araştırmışlardır. Araştırma aynı zamanda bir tavllanmış çelik ve birde tavlınmamış yumuşak çeliğin haddeleme işleminin anizotropik etkisinin derin çekilmesinde çekme derinliği üzerindeki etkisi karşılaştırılarak yapılmıştır [18]. Hasan vd. kare kapları konik kalıplar aracılığıyla üretirken geometrik ve sürtünme parametrelerinin LÇO üzerindeki etkilerini araştırmışlardır [19]. Optimum değerleri elde etmek için sayısal ve deneysel yöntemleri kullanarak yapmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre LÇO pirinç için 3.1 ve alüminyum için ise 3.15'e kadar artmış olduğunu göstermişlerdir. Hassan vd. tarafından asimetrik şekilli kapların LÇO'nu geliştirmek amacıyla bir çalışma yapılmıştır [20]. Baskı plakasız konik kalıplarda dörtgen kesitli kapları, yonca yaprağı şeklinde, gül yaprağı şeklinde, yıldız ve üçgen şeklinde üretmişlerdir. İşlemin geçerliliğini kanıtlamak için sayısal analiz yönteminde kullanılmış ve çalışma en homojen olmayan şekildeki yıldız kesitli kabın üretilmesi için deneysel olarak da yapılmıştır. LÇO pirinç için 3,44 ve alüminyum için 3,37 olarak elde edilmiştir. Dhaiban vd. tarafından derin çekme kuvveti, gerilme dağılımlarının ve birçok geometrik parametrelerin LÇO üzerindeki etkisini görmek amacıyla ANSYS/APDL yazılımı kullanılarak bir SEM hazırlanmış ve sayısal sonuçlar deneysel olarak kanıtlanmıştır. LÇO 2.26'ya kadar olan eliptik şekilli kaplar başarılı bir şekilde üretilmiştir [21]. Zein vd. derin çekme işlemlerinde geri esnemeyi ve incelemeyi incelemek için sayısal bir analiz çalışmasını tanımlamışlardır [22]. Deneysel sonuçların geçerliliğine karşı ABAQUS programı kullanılarak SEM geliştirilmiştir. Bu model ürünün istenen derinliğini elde etmede zımba hareketi için geri yaylanmadaki etkilerinin gerekli toleransını tahmin etmeye yardımcı olmuştur. Kalıp radyüsü, zımba ucu radyüsü, radyal boşluk, baskı plakası kuvveti ve sıvı yağlayıcı gibi parametrelerin etkisi verilmiştir. Chen vd. tarafından aynı şekilde, derin çekme işlemi üzerinde servo zımbalama ile ilişkili değişik parametrelerin etkisinin olduğunu ifade etmişlerdir [23]. Çalışmalarında hem olağan parametreyi hem de servo press ile ilgili olan parametreyi birleştirerek nihai ürünün yırtılmasına neden olan faktörleri vurgulamışlardır. Derin çekme işlemine araştırmacıların ilgisini çeken bir diğer derin çekme işlemi Şekillendirme Limit Diyagramı (ŞLD) analizidir. Derin çekme işlemindeki deformasyon mekanizması lokalize boyun vermenin başlangıçtaki hasar oluşumunu tahmin etmek için tek bir kritere bağlı kalmayı imkânsız yapmaktadır. Hussaini vd. çalışmalarında özel alaşımlı malzemeler için deneysel ve teorik ŞLD analizleri üzerinde yoğunlaşmışlardır [24]. Derinliği düşük simetrik kapların derin çekilmesinde kalıp geometrisi, zımba kuvveti ve ütüleme gibi parametrelerin etkisini incelemek amacıyla sayısal ve deneysel analizler yapılmıştır. Deneysel sonuçların doğrulanması amacıyla LS-Dyna yazılımı kullanılarak bir SEM geliştirilmiştir. Pressleme yükünü ve maksimum incelemeyi etkileyen ilkel parça kalınlığının büyük bir etkiye sahip olduğu, zımba hızının ise önemli bir etki göstermediği tespit edilmiştir. Sayısal analizden tespit ettikleri verilerin uygulama verileri ile aynı sonuçları sağladığı kanıtlanmıştır [25].

Derin çekme işleminde herhangi bir imalat hatasının meydana gelmesi çok istenmeyen bir durumdur ve kullanılan takımlar ve kalıplar pahalıdır. Her türlü yeniden tasarım, ürünün nihai maliyetinde önemli bir artışa yol açmaktadır [26]. Korkmaz vd. AISI420 paslanmaz çeliğinin delinebilirliğini ThirdWave Advantedge yazılımı kullanarak delme simülasyonları ile incelenmişlerdir. Çalışmalarında kaplamasız karbür matkap ile üç farklı kesme hızı ve üç farklı ilerleme miktarında delme parametrelerinin ilerleme kuvveti, tork ve sıcaklık üzerindeki etkilerini analiz etmişlerdir. İlerleme miktarı arttıkça ilerleme kuvveti ve moment değerlerinin arttığını, kesme hızının artmasıyla ilerleme kuvveti ve moment değerlerinin azalma eğilimine girdiğini tespit etmişlerdir [27]. Nas vd. sertleştirilmiş AISI H13 sıcak iş takım çeliğinin farklı işleme parametreleri için elektro erozyon işleme yöntemi ile delinmesinde, işleme parametrelerinin delik çapı ve kalitesi üzerindeki etkilerini deneysel tasarım Taguchi yöntemi ile incelemişlerdir. Deneysel sonuçları varyans analizi (ANOVA) ve sinyal/gürültü (S/N) oranı kullanarak değerlendirmişlerdir. Delik çapının ölçüsel doğruluğu üzerinde en etkili işleme parametresinin elektrot malzemesi, en az etki eden işleme parametresinin ise vurum süresi olduğunu ifade etmişlerdir [28]. Meral vd. ferritik paslanmaz çeliğin kaplamalı ve kaplamasız karbür matkap ile delinmesinde oluşan ilerleme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve çaptan sapma üzerinde ilerleme miktarı ve kesme hızının etkilerini deneysel ve istatistiksel olarak analiz etmişlerdir. Delme parametrelerinin işleme sonuçları üzerindeki etki seviyelerini belirlemek amacıyla varyans analizi uygulamışlardır. Sonuçlara göre, ilerleme miktarı arttıkça ilerleme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğünün

arttığını, çaptan sapmanın azaldığını, deneysel ve istatistiksel sonuçlara göre ise yüzey pürüzlülüğü ve çaptan sapma kaplamalı karbür uçta kaplamasız uca göre ortalama %5.8 ve %8.3, ilerleme kuvveti için kaplamalı karbür uçta kaplamasız uca göre ortalama %10 daha iyi performans gösterdiğini belirtmişlerdir [29]. Özlü vd. kaplamasız ve TiB₂ kaplamalı kesici takımlar ile AA6061 alaşımının tornalanmasında yüzey pürüzlülüğü üzerinde kesme parametrelerinin etkilerini soğutma sıvısı kullanılmadan deneysel olarak araştırmışlardır. İşleme deneyleri sonucunda elde edilen verileri istatistiksel olarak analiz ederek en iyi işlenmiş yüzey pürüzlülüğü için optimum kesme parametrelerinin seviyelerini belirlemişlerdir. Varyans analiz sonuçlarına göre yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en etkili parametrenin %64,28 oranı ile ilerleme miktarı olduğunu tespit etmişlerdir [30]. Farklı sac plakalardan derin şekil verme ile dikdörtgen parçaların üretilmesinde, ilkel plaka türü, baskı plakası kuvveti ve zımba radyüsüne benzer çok farklı biçimlendirme parametrelerinin β üzerindeki etkileri hakkında uygulamalı olarak yapıldığı çok çalışma vardır. Bu çalışma St37 sacı kullanılarak dikdörtgen kapların derin çekilmesinde plastik deformasyonu en aza indirmek için kalıbın geometrik parametrelerinin limit çekme oranı ve kap kesit incelmeleri üzerindeki etkisini tespit etmek amacıyla yapılmıştır.

2. Malzeme ve Yöntem (Material and Method)

2.1. Uygulanan yöntem ve malzeme seçimi (Applied method and material selection)

Kalınlığı 0,9 mm olan St37 karbonlu sac deney malzemesi olarak kullanılmıştır. St37 sacının mekanik özelliklerinin belirlenmesinde markası SHIMADZU olan 5000 kN çekme yüküne sahip test cihazında üç farklı yönde 0°, 45° ve 90° açılardaki hadde istikametinde 5 mm/dak çekme hızında çekme deneyleri yapılmıştır. Tablo 1’de St37 çelik sacının element bileşim oranları ve Tablo 2’de ise mekanik özellikleri verilmiştir. Kalıplar soğuk iş takım çeliği (D3) malzemesinden üretilmişlerdir. Kalıp dış piyasadan temin edilmiş ve mevcut şartlardaki haliyle kullanılmıştır.

Tablo 1. St37 çelik sacının kimyasal özellikleri (Chemical properties of St37 steel sheet)

C	Mn	P	S	Cr	Mo
0.0442	0.242	0.109	0.0084	0.0114	0.0114
Ni	Cu	Nb	Ti	Sn	Fe
0.0263	0.00451	0.00242	0.00028	0.0866	99.466

Tablo 2. St37 çelik sacın mekanik özellikleri (Mechanical properties of St37 steel sheet)

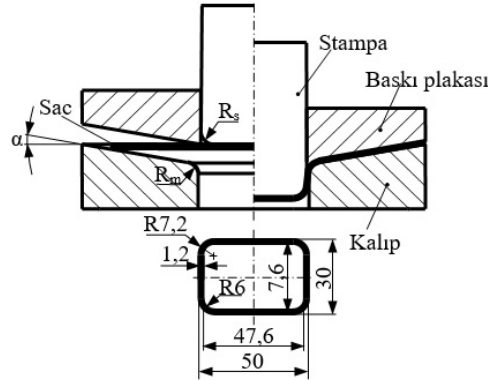
Hadde yönü (°)	Akma dayanımı (N/mm ²)	Çekme dayanımı (N/mm ²)	Uzama (%)
0	181.53	316.83	35.99
45	207.34	327.79	34.08
90	193.46	310.53	34.22

Deney çalışmalarının etkisini tespit etmek için kalıbın üst ve baskı plakasının alt yüzeylerine farklı açılar verilmiştir. Stampa ve matris köşelerindeki yarıçaplar aynı seçilmiştir. Kullanılan numune saclar 55x75 mm ebatlarından olmak üzere adım adım 2,5 mm artırılarak maksimum 95x115 mm boyutlarında dikdörtgen kesilerek standart ölçülerine getirilmiş ve toplam 160 deney yapılmıştır. Deneysel çalışmaların gerçekleştirildiği deney düzeneği Şekil 1’de, deneylerde kullanılan kalıp resmi ve büyüklükleri ise Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Deney düzeneği (Experimental set-up)

Derin çekme işlemleri 60-104 kN kapasitede hareket yönü tek ve eksene dik olan bir hidrolik press tezgâhında yapılmıştır. Deney seti press tezgâhına civata ve pabuçlar aracılığı ile bağlanmış ve kalıp stampa hızı sabit 4 mm/sn alınmış, pot çemberi kuvvetini kontrol etmek amacıyla 6 adet yay kullanılmış ve pot çemberi kuvveti sabit 1800 daN olarak uygulanmıştır. Deney çalışmaları sırasında zımbaya etki eden kuvvetlerin belirlenebilmesinde CAS LS-20T marka 200·103 kN kapasitede hassasiyeti ± 2 kg olan kuvvet belirleme özelliği tek yönlü olan bir kuvvet ölçme dinamometresi ayarlanmıştır. Kuvvet ölçme dinamometresinden tespit edilmiş olan kuvvet sonuçlarının bilgisayar ortamına gönderilmesi ve bunların kayıt altına alınması için ise markası CAS 1500A olan bir indikatör kullanılarak kaydedilmiş ve bu değerler RS232 bağlantısı aracılığı ile DNC programı vasıtasıyla saniyede 10^{-1} hızda kaydedilerek bilgisayara aktarılmıştır.



Şekil 2. Uygulamalarda kullanılan kalıp ve zımba boyutları (The die and punch geometry used in the experiments)

Zımba-Matris arası akıcılığı kolaylaştırmak amacıyla yoğunluğu $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de 885 kg/m^3 olan Shell Tellus 68 özelliğinde yağ kullanılmıştır. Deney çalışmaları, Tablo 3'de verilen çekme parametreleri kullanılarak yapılmıştır.

Tablo 3. Plastik şekil verme parametreleri (Plastic forming parameters)

Çekme parametreleri				
Kalıp üst yüzey/Pot çemberi alt yüzey açısı, α ($^{\circ}$)	0	3	6	9
Plastik şekil verme sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	20 $^{\circ}\text{C}$ (Oda sıcaklığı)			
Pot çemberi plakası kuvveti (N)	1800			
Matris/stampa radyüsü (mm)	6			

2.2. İlkel parça çapının belirlenmesi ve limit çekme oranının hesabı (Determination of blank diameter and calculation of limit drawing ratio)

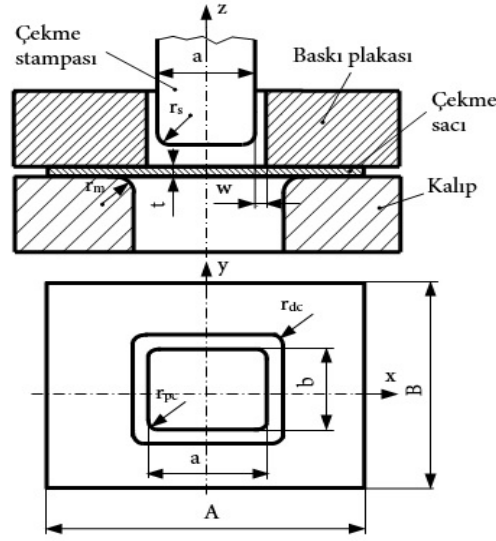
Limit çekme oranı (LÇO), derin çekmede ölçülebilen, şekillendirilebilirliğin yaygın olarak kullanılan özelliklerinden biri olup, hasarlı veya kırılma olmadan tek bir seferde ilkel parçanın maksimum çapının kap maksimum çapına oranıdır. Derin çekme uygulamalarında silindir şeklindeki kapların iyi bilinen derin şekil verme yöntemi dikdörtgen şekilli veya şekilleri belli olmayan kaplara tatbik etmek için eşdeğer çap teorisi doğru sonuçlar vermektedir [30, 32]. Dikdörtgen şekilli kapların derin çekilerek şekillendirilmesinde kalıbın ve ilkel ilkel parçanın geometrik büyüklükleri Şekil 3'de gösterilmiştir.

A =İlkel parça uzun kenarı, B =İlkel parça kısa kenarı, a =Stampa uzun kenarı, b =Stampa kısa kenarı, r_s =Stampa alt radyusu, r_{pc} =Stampa köşe radyüsü, r_m =kalıp ağız radyusu, r_{dc} =kalıp köşe radyusu, t =Çekme sacı kalınlığı, w =Stampa-baskı plakası arası boşluk değerini ifade etmektedir. $r_s=r_{pc}=r_m=r_{dc}=6$ mm, $t=0,9$ mm ve $w=1,2$ mm olarak alınmıştır.

ØD_{\max} , ilkel parçanın eşdeğer çapı olmak üzere ve bu çapa ait dikdörtgen sacın başlangıçta Şekil 4'te ifade edildiği haliyle A uzunluğunda ve B genişliğindeki dikdörtgen ilkel parça boyutları ile uzunluğu a ve genişliği b olan dikdörtgen zımba boyutlarının köşegen uzunluklarının hesaplanması ile ilkel parça çapı ve zımba çapı hesaplanmaktadır.

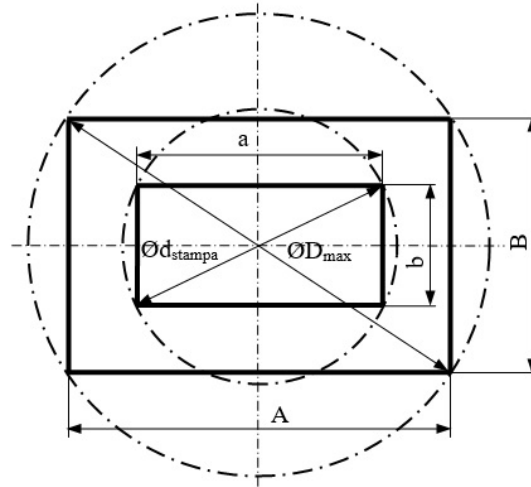
Esasında dikdörtgen kapların derin çekilmesindeki boyut faktörleri de silindirik şekil verme faktörleri gibi hesaplanmaktadır. Bununla birlikte dikdörtgen şekil vermede başka faktörlerinde dikkate alınması gerekir. Dikdörtgen şekil vermenin kayda değer bir biçimlendirme faktörü, kare olması halinde en/boy

oranı $b/a=1$ olurken dikdörtgenel kaptan en/boy oranı $b/a=1$ olmamaktadır. Bu yüzden sınır şekil verme katsayısı hesabında değişik bir metot olarak eşdeğer çap tespitinin yapılması gerekmektedir.



Şekil 3. Dikdörtgenel kabın derin çekilmesinde kullanılan kalıbın büyüklükleri (Geometric dimensions of the die used in deep drawing of rectangular cup) [36]

Başlangıç sac malzemenin genişlik x uzunluk boyutları ele alındığında, eşdeğer çapı tespit etmek için "Pisagor eşdeğer çapları" hesabı yapılmaktadır. Pisagor eşdeğer çapları Şekil 4'te gösterilmiştir. Şekilde açıklandığı gibi bu çapları ifade etmek için dikdörtgenin karşılıklı iki köşesi arasındaki uzunluğu göz önünde bulundurmaktadır. Böylece geçerli olan eşdeğer çaplar Pisagor metodu ile tespit edilmiştir.



Şekil 4. Dikdörtgen kap için ilkel parça ortalama çapı (D_{max}) ve zımba ortalama çapının (d_{stampa}) tespit edilmesi (Pisagor eşdeğer çapları) (Determination of blank sheet mean diameter (D_{max}) and punch mean diameter (d_{stampa}) for a rectangular cup (Pythagorean equivalent diameters)) [40]

$$\varnothing D_{max} = \sqrt{A^2 + B^2} \quad (1)$$

$$\varnothing d_{stampa} = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (2)$$

Denklem 1 ve denklem 2'de hesaplanmış olan eşdeğer çaplar kullanılarak limit çekme oranı (β), 3 ifadesi göz önüne alınarak belirlenmiştir.

$$\beta = \frac{\varnothing D_{max}}{\varnothing d_{stampa}} \quad (3)$$

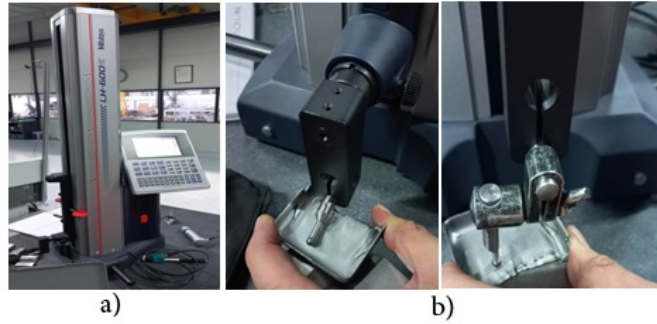
Burada, $\varnothing D_{max}$ parça ilkel eşdeğer çap ve $\varnothing d_{stampa}$ ıstampa eşdeğer çapını ifade etmektedir.

2.3. Kapların cidar kalınlık değişimlerinin ölçülmesi (Measuring wall thickness changes of cups)

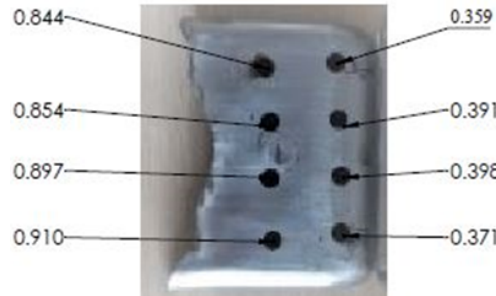
Derin çekme uygulaması sırasında plastik deformasyona uğrayan kabın üzerinde çok farklı gerilmeler oluşmakta ve bu gerilmelerden dolayı kabın cidar kalınlıklarında değişimler meydana gelmektedir [45].

Kaplardaki cidar farklılıklarının tespit edilmesi amacıyla deneylerden elde edilen kaplar hassas bir biçimde yüksekliği boyunca ve özellikle de kenar köşe bölgesinden testere ile hassas bir biçimde kesilerek haddeleme doğrultusu üzerinde 10 mm mesafelerde testere ile kesilmişlerdir.

Kesilen kabın duvar yüzeyi taban radyüsü bitiminden itibaren kabın ağız kısmına doğru 10x10 mm. aralıklarla ızgaralara bölünmüştür. Kesişim noktaları belirlenmiş ve belirlenen noktalardan cidar kesit değişimleri LH-600E modeli MİTUTOYO marka hassas doğrusal ölçüm mihengiri cihazı ile belirlenen kesişim noktalarından, noktasal temaslı hassas uç ile 0.001 hassasiyetinde ölçülmüştür. Şekil 5a'da, cidar kesit değişimlerinin ölçülmesinde kullanılan cihaz, Şekil 5b'de ise kesit değişimlerinin ölçülmesi gösterilmiştir. Şekil 6'da, kesilmiş numune üzerinde ölçüm noktalarının gösterildiği ve ölçüm sonucu elde edilen cidar kesit değişimi değerleri verilmiştir.



Şekil 5. Kap cidar kalınlık değişimlerinin ölçüm yöntemi: a) Kap cidar kalınlık değişimleri ölçüm cihazı, b) Kap cidar kalınlık değişimlerinin ölçülmesi (Measurement method of cup wall thickness changes: a) Cup wall thickness variation measuring device, b. Measurement of cup wall thickness changes)



Şekil 6. Cidar kalınlık değişimlerinin ölçümü için kullanılan numune ve ölçülen değerler (Sample and measured values used for measurement of wall thickness changes)

3. Sonuçlar ve Değerlendirilme (Results and Evaluation)

3.1. Kalıp/baskı plakası açısının (α) kap cidar kalınlık değişimi üzerindeki etkisi (Effect of die/blank holder angle (α) on cup wall thickness variation)

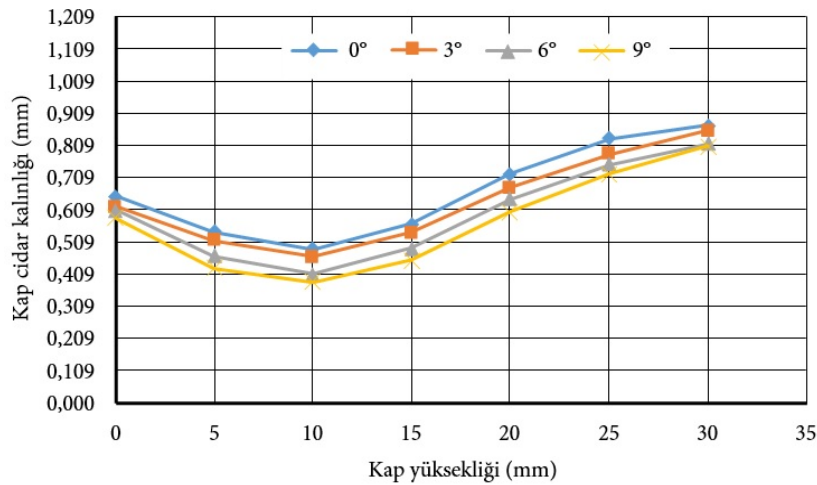
Derin çekmede sacı şekillendirmenin başarılı bir sonuç vermesi cidar kalınlıklarındaki farklılaşmaların öngörüldüğü değerlerde tutulmuş olması önemlidir. Kap cidar değişimleri ve genellikle de alt köşe radyüs bölgelerinde sac malzemenin kalitesine direkt etki yapmaktadır.

Stampa ile sac plaka arasındaki temasın neticesinde sürtünmenin büyümesi ile gerilmeler büyür. Stampingin plastik şekil vermeye etkisini sürdürmesi ile gerilme de aynı oranda sürekli büyümeye devam etmektedir. Gerilmedeki bu büyüme sacdaki cidar kesit değişiminin önemli miktarda küçülmesine ve böylece elde edilen kaptaki çok fazla plastik şekil değişiminin meydana gelmesine sebep olmaktadır [34, 35, 36, 38].

Şekil 7-Şekil 10'da sabit KBPK=1800 daN'luk kuvvet altında farklı limit çekme oranlarında farklı kalıp/baskı plakası açılarında çekilmiş numunelerde kap yüksekliğine bağlı olarak kap kesit incelmeleri verilmiştir.

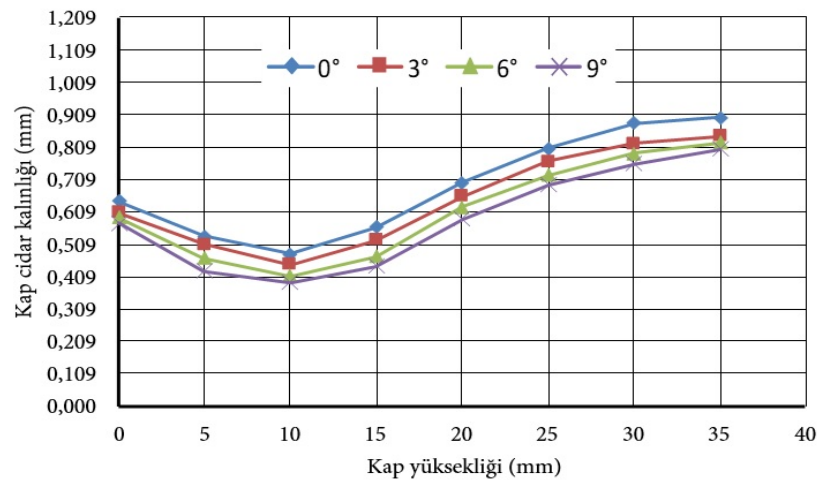
Şekil 7'de $\beta=1,85$ ve 1800 N pot çemberi kuvveti uygulanarak kalıp/pot çemberi açısı (α)'nın hadde doğrultusu ekseninde cidar kesit değişimleri üzerindeki etkisi gösterilmiştir.

Şekilde görüldüğü gibi 0-10 mm aralığındaki kap yüksekliklerinde cidar kesit değişimlerinin azaldığı, yani sacda önemli sayılabilir incelmelerin meydana geldiği ve 0,371-0,910 mm arasında olduğu sac kalınlığındaki değişimin yaklaşık %20 civarında düştüğü tespit edilmiştir. 10 mm'den itibaren kap ağız kısımlarına doğru cidar kalınlık değişimlerinin artış gösterdiği, 25 mm'den itibaren ise cidar kalınlığının sac plaka kalınlığını geçtiği görülmüştür. Kabın cidar kesitindeki bu değişim yaklaşık %32 civarında olmaktadır. α 'nın her değeri için kabın kesit cidar değişiminin aynı oranda olduğu tespit edilmiştir. α büyüdükçe kap kesit incelmelerinin azaldığı görülmektedir.



Şekil 7. $\beta=1,85$ için kalıp/baskı plakası açısının (α) cup yüksekliğine bağlı olarak cup cidar kalınlığı değişimleri üzerindeki etkisi (Effect of die/blank holder angle (α) on cup wall thickness changes depending on height of cup for $\beta=1,85$)

Şekil 8'de $\beta=1,95$ ve BPK=1800 N için α 'nın haddeleme doğrultusu hattı üzerinde cidar değişim kalınlığı üzerindeki değişimi görülmektedir. Şekil 8 ve Şekil 9'da gösterildiği üzere $\beta=1,95$ ve $\beta=2,20$ için kap cidar kalınlık değişimleri maksimum seviyede değişim göstermektedir. Ancak $\beta=2,20$ 'ye ulaştığında numune alt köşe kısımlarında en büyük incelmeyi meydana geldiği tespit edilmiş ve bu değer 0,373 mm'ye kadar düşmüştür. Bu noktadaki incelme miktarı hemen hemen %26 ile 9°'lik matris/baskı plakasında ölçülmüştür.



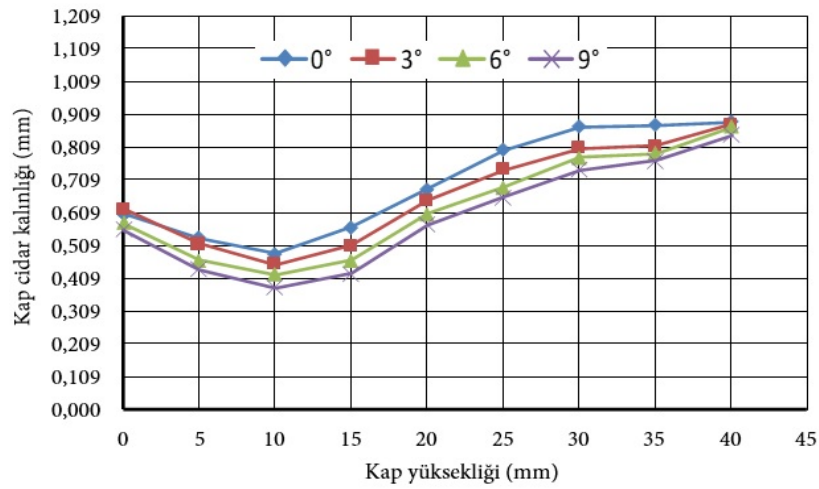
Şekil 8. $\beta=1,95$ için kalıp/baskı plakası açısının (α) cup yüksekliğine bağlı olarak cup cidar kalınlığı değişimleri üzerindeki etkisi (Effect of die/blank holder angle (α) on cup wall thickness changes depending on height of cup for $\beta=1,95$)

Baskı plakası kuvveti sabit ve BPK=1800 daN, $\alpha=0^\circ$ ve $\alpha=3^\circ$ 'lik kalıplarda özellikle $\beta=1,85$ ve $\beta=1,95$

olması durumlarında kap kesit incelemelerinde kayda değer oranda bir kalınlaşmanın meydana geldiği, kap ağız kısımlarında gözle görülür bir biçimde ondülasyonların, buruşmaların ve kırışmaların fazlasıyla meydana geldiği tespit edilmiştir. Deformasyon sertleşmesi malzemelerin şekillendirilmesini etkileyen en önemli faktördür. Malzemenin şekillendirilmesi esnasında meydana gelen deformasyon sertleşmesi kabın kalıp boşluğuna akışını, zımba kuvvetini, kaptaki kalınlık değişimlerini ve kaptaki gerilmeleri doğrudan etkilemektedir [40, 41, 42].

Şekil 9'da $\beta=2,20$ ve $BPK=1800$ daN altında α 'nın haddeleme doğrultusu üzerinde kurs boyuna bağlı olarak kap kesit incelemelerinin değişimi verilmiştir.

α 'nın artmasının kap boyunun artmasında önemli bir etkisinin olduğu ancak kabın alt köşe kısımlarında ise aşırı kesit incelemelerine sebep olduğu, kap ağız kısımlarına doğru sacdaki kalınlık değişiminin % 41 oranında kayda değer bir kalınlığa kadar çıktığı, bu artışın en fazla $\alpha=0^\circ$ 'lik matriste olduğu görülmüştür. Bu artış kap üst ağız kısımlarına doğru sac deformasyonunun zor olması sonucunda sacda üst üste binmelerin bir neticesi olduğu şeklinde ifade edilebilir.



Şekil 9. $\beta=2,20$ için kalıp/baskı plakası açısının (α) cup yüksekliğine bağlı olarak cup cidar kalınlığı değişimleri üzerindeki etkisi (Effect of die/blank holder angle (α) on cup wall thickness changes depending on height of cup for $\beta=2,20$)

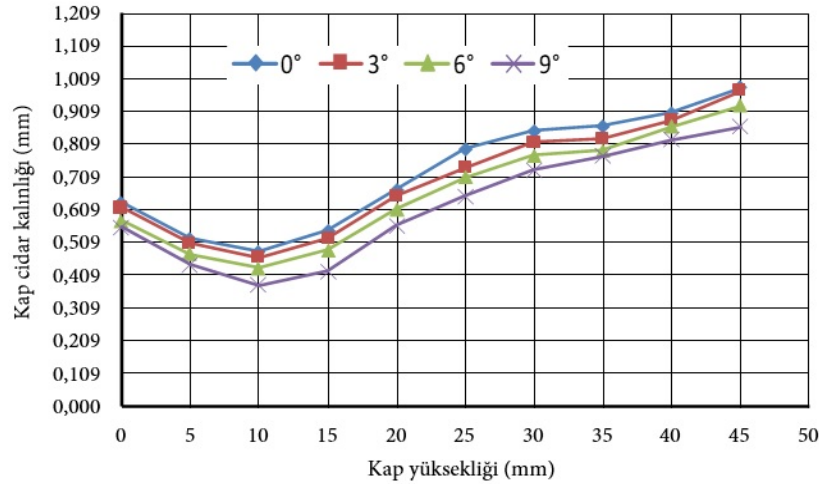
Şekil 10'da maksimum $\beta=2,31$ ve $BPK=1800$ N için α 'nın haddeleme doğrultusunda kurs boyuna bağlı olarak kap kesit incelemelerinin değişimi verilmiştir. Kap boyunun 0-10 mm arasında olması durumunda sacın cidar kesitlerinde kayda değer bir incelmeye ve bu değer $\alpha=9^\circ$ için 0,371 mm'ye kadar düştüğü tespit edilmiştir. Kap boyunun 10-45 mm arasındaki bölgede kesit kalınlaşmalarının sürekli arttığı ve kap ağız kısmında $\alpha=0^\circ$ için 0,972 mm, $\alpha=3^\circ$ için 0,962 mm, $\alpha=6^\circ$ için 0,918 ve $\alpha=9^\circ$ için 0,854 mm olarak ölçülmüştür. Özellikle $\alpha=0^\circ-6^\circ$ için sac yığılmalarından dolayı kap boyundaki artışa bağlı cidar kesit değişimleri artarak özellikle 40-45 mm aralıktaki kap boyunda malzeme kalınlığına eşit ve hatta aştığı görülmektedir. Bu değerden sonra kalınlık sac kalınlığının üzerine çıkmış, $\alpha=0^\circ$ 'da %56'lık bir artış göstererek 0,972 mm, diğer bütün matris açıları ise ortalama matris boşluğu değerine eşit olarak ölçülmüştür.

Şekil 7-Şekil 10 bir arada karşılaştırıldıklarında α 'nın tüm değerleri için cidar kesit değişimlerinin kabın bütün yüksekliklerinde benzer bir değişim gösterdiği görülmektedir. Limit çekme oranının artmasına bağlı olarak, matris açısının cidar kesit değişimleri üzerinde önemli bir etki yaptığı net olarak fark edilmektedir. Bu etkinin net olarak çekilen numunenin özellikle üst ağız kısımlarında çok daha yoğun olduğu görülmüştür. Bunun nedeni kalıp/pot çemberi açısının artmasına bağlı olarak sac plakasının matris içine doğru akışının artan açıya bağlı olarak daha rahat oluşundan kaynaklanmış olduğu tahmin edilmektedir.

Cidar kalınlıklarındaki farklılaşmalar, matris geometrik şekline, pot çemberi kuvveti, matris köşe yarıçapları, kullanılan akıcı akışkanlar, stampa ilerleme hızı ve sac plaka yüzeyindeki sürtünme alanının düzgün olup olmaması gibi farklı faktörlerin büyük bir oranda etkisinde kalmaktadır [7, 16, 17, 45].

α arttıkça, $\alpha=6^\circ$ ve $\alpha=9^\circ$ 'lik açılarda buruşmaların çok net fark edilebilir bir şekilde azaldığı, özellikle $\alpha=9^\circ$ 'lik kalıplarda elde edilen kaplarda ondülasyonların ve sacda üst üste binmelerin ve buruşmaların

fazla meydana gelmediği tespit edilmiştir. Bu durumun, matris/pot çemberi yüzey açısının derin çekme sırasında sac malzemenin akışını kolaylaştırdığını ve hasarsız kapların elde edilebileceğini göstermiştir. Sac plakasının matris boşluğuna kaymasını rahatlatmak amacıyla stampa ve matris yarıçaplarının olması gereken ölçülerde alınması gerekir. Olması gereken değerden daha fazla alınması stampa ve matris yarıçaplarında, pot çemberi tesir alanı azalacağından, sac plakasının zımba ile temasta olmayan alanı artmakta ve sac plakada olumsuz buruşmalar meydana gelmektedir [31, 33].



Şekil 10. $\beta=2.31$ için kalıp/baskı plakası açısının (α) cup yüksekliğine bağlı olarak cup cidar kalınlığı değişimleri üzerindeki etkisi (Effect of die/blank holder angle (α) on cup wall thickness changes depending on height of cup for $\beta=2.31$)

α 'nın hemen hemen tüm değerlerinde kap kesit incelemelerinde kayda değer bir farklılık olduğu tespit edilmiştir. Bu durum baskı plakası kuvvetinin yeterli olmamasından kaynaklandığı ve dolayısı ile plastik deformasyona uğrayan sac plakasının kap kenarlarında meydana gelen yüzey buruşmalarından dolayı matris boşluğu içinde sıkışmasından olduğu ve cidar kesit değişimlerinin artmasına neden olmuştur [38]. Kap kesit inceleme değişiminde kayda değer bir değişim meydana gelmesine rağmen maksimum inceleme $\alpha=0^\circ$ kalıpta, minimum inceleme ise $\alpha=9^\circ$ lik kalıpta olduğu tespit edilmiştir. Bunun sebebi, matris açısının sacın kalıp boşluğu içine doğru itilmesini rahat bir şekilde gerçekleştirmesi ve dolayısıyla sac plakasının üst üste toplanmasının düşürülmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir [40].

Farklı matris/pot çemberi açıları için gerçekleştirilen deneylerden tespit edilen β değerleri yaklaşık olarak aynı olup maksimum limit çekme oranı $\beta=2,31$ olarak elde edilmiştir. Yapılan çalışmalar neticesinde tespit edilen kap kesit inceleme grafikleri değerlendirildiğinde çok farklı sonuçların oluşmadığı görülmektedir. Kap kesit incelemelerinde etkili olan en temel parametrenin α olduğu tespit edilmiştir.

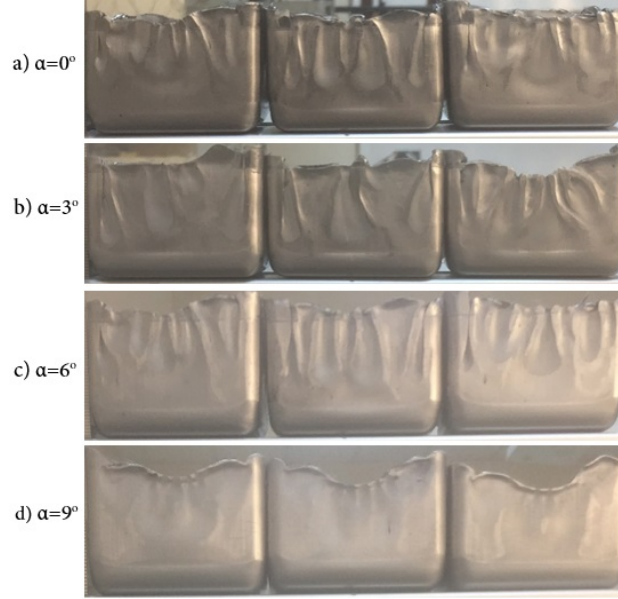
3.2. Kalıp/baskı plakası açısının (α) plastik şekillendirme üzerindeki etkisi (Effect of die/blank holder angle (α) on plastic forming)

Oda sıcaklığı 20°C 'de ve sabit 1800 N pot çemberi kuvveti altında maksimum $\beta=2,31$ ve farklı α değerlerinde üretilen kaplar Şekil 11'de sırasıyla gösterilmiştir.

Şekilde görüldüğü gibi derin çekme işlemlerinde dikdörtgen kapların elde edilmesinde α 'nın β üzerindeki etkisi oldukça önemlidir. α 'nın artmasına bağlı olarak β 'de artmaktadır. Bunun sebebi kalıp açısının yüksek olması durumunda sac plakasının kalıp boşluğuna doğru kolay bir şekilde gerçekleşmiş olmasındandır. Zımba ile kalıp içerisine itilmeye zorlanan sac plakasının çekme-basma gerilmelerine direnç meydana getirmesi α 'nın artması ile azalmaktadır [44, 45, 46].

Şekil 11a ve Şekil 11b, incelendiğinde, $\alpha=0^\circ$ ve $\alpha=3^\circ$ olan kalıplarda $\beta=2,31$ maksimum olarak elde edildiği, kap ağız kısımlarında gözle görülür biçimde ondülasyonların, buruşmaların ve kırışıklıkların olduğu, ancak $\alpha=6^\circ$, 9° 'de elde edilen kapların daha düzgün ve pürüzsüz olduğu, gözle görülür hasarların oluşmadığı, sadece belirli bir ölçüde kulaklanmaların meydana geldiği görülmektedir. α artıkça, ondülasyonların, buruşmaların ve kırışmaların fazla meydana gelmediği, α 'nın sac malzemenin akışını kolaylaştırdığını ve hasarsız kapların elde edilebileceğini göstermiştir. Bunun en

büyük sebebinin kalıp açısının artmasına bağlı olarak aksel kuvvette bir artışın olmasından kaynaklanmakta olduğu söylenebilir [37].



Şekil 11. Kalıp üst yüzey açısı ve pot çemberi alt yüzey açısına (α) bağlı olarak $\beta=2,31$ ve 1800 N sabit pot çemberi kuvvetinde elde edilen kaplar (Cups obtained at depending on the angle of the die upper surface and the bottom surface of the blank holder for $\beta=2.31$ ve constant BHF=1800 N)

İlkel parça çapı büyüdükçe sac plakada hasarların oluşmasıyla kap incelmelerinin arttığı ve zımba kuvvetinin artması gerilmelerin artmasına neden olmaktadır. Derin çekme işlemi sırasında sacda oluşan çok büyük gerilmelere direnç gösteremeyen sac plakalarda çatlaklar, yırtılmalar ve kopmalar meydana gelmekte ve şekil verme aşamasında sağlıklı sonuçların oluşması imkânsız hale gelmektedir. BPK'nin düşük olması durumunda yırtılmalar genelde kabın taban köşelerinde meydana gelmektedir. BPK'nin düşük olması halinde ise ondülasyonların daha büyük olmasından kaynaklanan ve kabın ağız kısımlarında daha büyük katlanmalar (Şekil 11a ve Şekil 11b) ve buruşmalar meydana gelmekte, bu da kabın üst bölgelerinde yırtılmaların ve çatlakların oluşmasında etkili olmaktadır.

4 Sonuçlar ve Tartışma (Results and Discussion)

Bu çalışmada, St37 çeliğinden dikdörtgen kapların derin çekilebilirliğinde kalıp geometrisinin kap kesit incelleme değişimlerine olan etkisi uygulamalı olarak incelenmiştir. Elde edilen temel bulgular aşağıda maddeler halinde açıklanmıştır.

1. α büyüdükçe kap kesit incelmelerinin arttığı, bu durumun sac akışının daha rahat olduğu, numune ağız bölgelerindeki geri yaylanma oranının numune taban bölgelerindeki geri yaylanma oranından daha az olması ve şekillendirme kuvvetine etki eden başlıca parametrenin α olduğu tespit edilmiştir.

2. α değerlerinin büyümesi ile β 'da büyümektedir. St37 sacının şekillendirilmesinde $\alpha=0^\circ$ 'de elde edilen $\beta=1,65$ olurken, $\alpha=3-9^\circ$ olması halinde $\beta=2,31$ olarak elde edilebilmiştir.

3. İlkel parça boyutlarının büyük ölçülerde seçilmesi durumunda, elde edilen kaplarda ağız kısımlarına doğru ondülasyonlar, kulaklanmalar ve sacda üst üste binmeler ve yırtılmalar oluşmaktadır. Kabın alt taban köşelerinde ve boydan boya yan köşe bölgelerinde istenilmeyen derecede incelmeler meydana gelmektedir. α 'nın artırılması halinde daha yüksek β ve daha verimli ve uygun kapların üretimi yapılabilmektedir.

4. Farklı α için gerçekleştirilen deneylerden elde edilen β değerleri yaklaşık olarak aynı olup maksimum limit çekme oranı $\beta=2,31$ olarak elde edilmiş, ancak küçük α değerlerinde elde edilen kaplarda hasarlar ve yaygın olarak buruşmalar oluştuğu görülmüştür.

5. α artıkça, ondülasyonların, buruşmaların ve kırışmaların fazla meydana gelmediği, kalıp/baskı plakası yüzey açısının sac malzemenin akışını kolaylaştırdığını ve daha hasarsız kapların elde edilebileceğini göstermiştir (Şekil 11d).

6. $\beta=2,31'$ e ulaştığında numune alt kısımdaki köşelerde maksimum incelmeyi meydana geldiği tespit edilmiş ve bu değer 0,373 mm'ye kadar düşmüştür. 0-10 mm aralığındaki kap yüksekliklerinde cidar kesit değişimlerinin azaldığı, yani sacda önemli sayılabılır bir değerde inceme meydana geldiği ve bunun hemen hemen 0,371-0,910 mm kadar olduğu, deneye tabi tutulan sac kalınlığındaki değişimin yaklaşık %20 civarında azaldığı görülmüştür.

7. Yapılan çalışma ile kap kesit incelemelerinde en etkili olan parametrenin matris/pot çemberi yüzey açısı olduğu tespit edilmiştir.

Çıkar Çatışması Beyanı (Conflict of Interest Statement)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması bildirilmemiştir.

Kaynaklar (References)

- [1] R. R. Goud, K. E. Prasad, and S. K. Singh, "Formability limit diagrams of extra-deep-drawing steel at elevated temperatures," *Procedia Materials Science*, vol. 6, pp. 123-128, 2014. doi:10.1016/j.mspro.2014.07.014
- [2] B. V. S. Rao, G. C. M. Reddy, G. K. M. Rao, and P. V. R. Reddy, "Influence of drawing ratio on thickness variation along the walls of deep-drawn cups," *Journal of Manufacturing Engineering*, vol. 11, no. 2, pp. 86-93, 2016.
- [3] R. Karl, "Simulation of sheet metal forming-necessary developments in the future," *LS-DYNA Anwenderforum*, vol. 7, no. 1, pp. 59-68, 2008.
- [4] A. S. Takalkar and L. B. M. Chinnapandi, "Deep drawing process at the elevated temperature: A critical review and future research directions," *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, vol. 27, pp. 56-67, 2019. doi:10.1016/j.cirpj.2019.08.002
- [5] H. Zein, M. El-Sherbiny, M. Abd-Rabou, and M. El Shazly, "Effect of die design parameters on thinning of sheet metal in the deep drawing process," *American Journal of Mechanical Engineering*, vol. 1, no. 2, pp. 20-29, 2013. doi:10.12691/ajme-1-2-1
- [6] A. C. S. Reddy, S. Rajesham, P. R. Reddy, T. P. Kumar, and J. Goverdhan, "An experimental study on the effect of process parameters in the deep draw using Taguchi technique," *International Journal of Engineering Science and Technology*, vol. 7, no. 1, pp. 21-32, 2015. doi:10.4314/ijest.v7i1.3
- [7] K. Mac, E. T. George, and M. K. Scot, *Handbook of Aluminum, Physical Metallurgy and Processes*, vol. 1. New York, USA: Marcel Dekker Inc, 2003.
- [8] Z. Kailun, J. P. Denis, W. Liliang, and L. Jianguo, "A review on forming techniques for manufacturing lightweight complex-shaped aluminum panel components," *International Journal of Lightweight Materials and Manufacture*, vol. 1, pp. 55-80, 2018. doi:10.1016/j.ijlmm.2018.03.006
- [9] B. Vukota, *Sheet Metal Forming Processes and Die Design*. New York, USA: Industrial Press Inc, 2004.
- [10] D. Cyril, H. George, L. Cain, V. C. Gold, and J. Ghose, *Tool Design, Special Indian Edition*. 2012.
- [11] B. Kenza, F. G. Mohammad, E. E. Hachmi, F. Musthapha, M. Mohamad, and M. Mada, "Modeling of anisotropy influence on thickness distribution of deep drawing sheet," *International Conference on Robotics, Control and Automation Engineering, RCAE, Beijing*, pp. 26-28, December 2018.
- [12] S. Kilani, *Sheet Metal Forming Processes, Constitutive Modelling and Numerical Simulation, in Numerical Simulation of the Sheet Metal Forming Processes*, Springer Science & Business Media, pp. 213-295, 2010.
- [13] P. Das, S. K. Panda, and D. K. Pratihari, "Modification of initial blank shape to minimize earing in the deep drawing process," *Advanced Materials Manufacturing & Characterization*, vol. 3, no. 1, pp. 99-104, 2013. doi:10.11127/ijammc.2013.02.018
- [14] S. P. Nagda, S. B. Purnank, and M. K. Shah, "Finite element simulation of the deep drawing process to minimize earing," *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering*, vol. 11, no. 2, pp. 413-416, 2017.
- [15] K. Bouchaala, M. F. Ghanameh, M. Faqir, M. Mada, and E. Esaadiqi, "Numerical investigation of the effect of punch corner radius and die shoulder radius on the flange earrings for AA1050 and AA1100 aluminum alloys in the cylindrical deep drawing process," *Heliyon*, vol. 7, no. 4, pp. e06662, 2021. doi:10.1016/j.heliyon.2021.e06662
- [16] D. Banabic, *Sheet Metal Forming Processes: Constitutive Modeling and Numerical Simulation*. New York: Springer, 2010.

- [17] R. Coles and M. J. Kirwan, *Food and Beverage Packaging Technology*, 2nd Edition. London, UK: Wiley-Blackwell, 2011.
- [18] M. Colgan and J. Monaghan, "Deep drawing process: Analysis and experiment," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 132, no. 1-3, pp. 35-41, 2002. doi:10.1016/S0924-0136(02)00253-4
- [19] M. Hassan, L. Hezam, M. El-Sebaie, and J. Purbolaksono, "Deep drawing characteristics of square cups through conical dies," *Procedia Engineering*, vol. 81, pp. 873-880, 2014. doi:10.1016/j.proeng.2014.10.091
- [20] M. A. Hassan, I. M. Hassab-Allah, L. M. A. Hezam, N. A. Mardi, and M. Hamdi, "Deep drawing of asymmetric cups through a conical die without blank holder," *Proceedings of the World Congress on Engineering 2015*, London, UK, July 1-3, 2015.
- [21] A. A. Dhaiban, M. E. S. Soliman, and M. G. El-Sebaie, "Development of deep drawing without blank-holder for producing elliptic brass cups through conical dies," *Journal of Engineering Sciences (JES)*, vol. 41, no. 4, pp. 1530-1548, 2013. doi:10.21608/JESAUN.2013.114876
- [22] H. Zein, M. El Sherbiny, M. Abd-Rabou, and M. El Shazly, "Thinning and spring back prediction of sheet metal in the deep drawing process," *Materials and Design*, vol. 53, pp. 797-808, 2014. doi:10.1016/j.matdes.2013.07.078
- [23] D. C. Chen, L. Cheng-Yu, and Y. Y. Lai, "Finite element analysis of deep drawing," *Advances in Intelligent Mechatronic Systems and Precision Engineering*, vol. 11, no. 9, pp. 1-10, 2019. doi:10.1177/1687814019874561
- [24] S. M. Hussaini, G. Krishna, A. K. Gupta, and S. K. Singh, "Development of experimental and theoretical forming limit diagrams for warm forming of austenitic stainless steel 316," *Journal of Manufacturing Processes*, vol. 18, pp. 151-158, 2015. doi:10.1016/j.jmapro.2015.03.005
- [25] A. Shaaban and A. S. Elakkad, "Numerical and experimental analysis of single-acting stroke deep drawing of symmetric low-depth products without blank holder," *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 12, no. 3, pp. 2907-2919, 2021. doi:10.1016/j.asej.2020.11.015
- [26] K. Zheng, D. J. Politis, L. Wang, and J. Lin, "A review on forming techniques for manufacturing lightweight complex-shaped aluminum panel components," *International Journal of Lightweight Materials and Manufacture*, vol. 1, no. 2, pp. 55-80, 2018. doi:10.1016/j.ijlmm.2018.03.006
- [27] M. E. Korkmaz, T. Meral, and M. Günay, "Drillability analysis of AISI 420 martensitic stainless steel by finite element method," *Gazi Journal of Engineering Sciences*, vol. 4, no. 3, pp. 223-229, 2018. doi:10.30855/GJES.2018.04.03.009
- [28] E. Nas, E. Zurnacı, and S. Yıldırım, "Modelling and optimization of electrical discharge machining parameters using the taguchi method to improve the drilling performance of hardened AISI H13 tool steel," *Gazi Journal of Engineering Sciences*, vol. 7, no. 2, pp. 99-110, 2021. doi:10.30855/gmbd.2021.02.03
- [29] T. Meral and M. Günay, "Drillability analysis of ferritic stainless steel with coated and uncoated carbide drill," *Gazi Journal of Engineering Sciences*, vol. 5, no. 2, pp. 159, 2019.
- [30] B. Özlü, M. Akgün, and H. Demir, "Analysis and optimization of effects on surface roughness of cutting parameters on turning of AA6061 alloy," *Gazi Journal of Engineering Sciences*, vol. 5, no. 2, pp. 151-158, 2019. doi:10.30855/gmbd.2019.02.04
- [31] C. Özek and E. Ünal, "The effect of die/blank holder angles on limit drawing ratio and wall thickness in deep drawing of square cups," *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, vol. 27, no. 3, pp. 615-622, 2012.
- [32] L. Çapan, *Metallere Plastik Şekil Verme*, 5th ed., İstanbul, Türkiye: Çağlayan Kitabevi, 2010.
- [33] A. T. Güneş, *Pres İşleri Tekniği*, vol. 2, 2nd ed., Ankara, Turkey: TMMOB Makina Mühendisleri Odası, 2002.
- [34] K. Demiray, "Al1050 Malzemesinin Derin Çekme İşleminde Baskı Plakasının Etkisinin Teorik ve Deneysel Olarak İncelenmesi," Yüksek lisans tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Karabük, Türkiye, 2006.
- [35] Ö. Seçkin, "DKP Sac Çeliğinin Derin Çekilmesinde Matris Yüzey Açısı Değişiminin Araştırılması," Yüksek lisans tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 2005.
- [36] İ. Uzun ve Y. Erişkin, *Sac Metal Kalıplığı*, Ankara, Türkiye: Milli Eğitim Bakanlığı Yayınları, 1997.
- [37] L. Larsson, *Warm Sheet Metal Forming with Localized In-Tool Induction Heating*, 1st ed., Sweden: Lund University, 2005.
- [38] C. Özek ve E. Ünal, "Küresel tabanlı kapların şekillendirilmesinde sacın aktığı yüzey açısının limit çekme oranı ve et kalınlığı değişimi üzerindeki etkisi," *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, cilt 18, sayı 015904, ss. 1149-1157, 2018. doi:10.5578/fmbd.67820
- [39] V. Savaş and Ö. Seçgin, "An experimental investigation of forming load and side-wall thickness obtained by a new deep drawing die," *International Journal of Material Forming*, vol. 3, pp. 209-213, 2010. doi:10.1007/s12289-009-0672-9
- [40] M. Cotterell, J. Schambergerova, J. Ziegelheim, and J. Janovec, "Dependence of micro-hardness on deformation of deep-drawing steel sheets," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 124, no. 3, pp. 293-296, 2002. doi:10.1016/S0924-0136(02)00203-0

- [41] C. Özek and V. Taşdemir, "Experimental investigation of the effects of blank holder force and die surface angle on the warm deep drawing of AA5754-O alloy," *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, vol. 32, no. 1, pp. 171-179, 2017. doi:10.17341/gazimmfd.300608
- [42] C. Özek and V. Taşdemir, "Experimental and numerical investigation of the effect of temperature on deep drawing of aluminum alloy," *Journal of Polytechnic*, vol. 21, no. 1, pp. 193-199, 2018. doi:10.2339/politeknik.392126
- [43] R.M. Aarón, I.M.C. Hugo, F.L. Dirk, and J.G.Z. Pedro, "Performance evaluation of analytical expressions for cylindrical and rectangular deep drawing force estimation," *Journal of Manufacturing Processes*, vol. 36, pp. 340-350, 2018. doi:10.1016/j.jmapro.2018.10.033
- [44] V.L. Hattalli and S.R. Srivatsa, "Sheet Metal Forming Processes-Recent Technological Advances," *International Conference on Advanced Materials and Applications (ICAMA 2016), Bengaluru, Karnataka, India, June 15-17, 2016*.
- [45] E. Ünal and C. Özek, "A study on the wall thickness in the angular deep drawing process," *Materials Testing*, vol. 59, no. 2, pp. 178-182, 2017. doi:10.3139/120.110980
- [46] C. Özek, Y. H. Çelik, and M. B. Özek, "A fuzzy logic model to determine the effects of die/blank holder angle and punch radius on drawing ratio in angular deep drawing dies," *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, vol. 25, no. 2, pp. 379-388, 2013. doi:10.3233/IFS-2012-0644
- [47] C. Özek and E. Ünal, "Optimization and modeling of angular deep drawing process for square cups," *Materials and Manufacturing Processes*, vol. 26, no. 9, pp. 1117-1125, 2011. doi:10.1080/10426914.2010.532526

This is an open access article under the CC-BY license



GAZİ

JOURNAL OF ENGINEERING SCIENCES

Investigation of Structural, Morphological and Electrical Properties of SnO₂ Thin Film Grown by SILAR Method

Tugba Corlu^{a, b}, Selim Acar^c

Submitted: 15.10.2022 Revised: 16.03.2023 Accepted: 22.03.2023 doi:10.30855/gmbd.0705055

ABSTRACT

Due to its wide band gap value and large applications, tin dioxide (SnO₂) is useful multifunctional material. In this study, SnO₂ thin film was grown by the Successive Ionic Layer Adsorption and Reaction (SILAR) method for 40 cycles on the silver interdigital contact. Structural and morphological properties were investigated by XRD, SEM, and UV analysis. XRD analysis was taken using Cu K α source in the range of 20- 80 two theta and it was observed that the crystal structure was formed. SEM analysis showed that the SnO₂ material grew homogeneously on the glass surface. The Tauc graph was plotted using the absorbance data. It was determined from the graph that the forbidden energy range was 3.81 eV. Urbach energy graph was also plotted which value was calculated as 0.46 eV. For electrical characterization, I-V and resistivity measurements were also taken depending on temperature by Keithley 2400 source meter and Lakeshore temperature controller. The temperature-dependent resistance graph was plotted. The temperature-dependent resistance graph showed that the resistivity decreased with increasing temperature. Activation energies were calculated by drawing the temperature-dependent Arrhenius graph. The results showed that the SnO₂ thin film could be used in future electrical applications.

Keywords: SnO₂, SILAR, Electrical Characterization

^a Suleyman Demirel University
Innovative Technologies
Application and Research Center,
32260 - Isparta, Turkey
Orcid: 0000-0001-5828-207X
e mail: tugbacorlu@sdu.edu.tr

^b Gazi University,
Graduate School Of Natural
And Applied Sciences
Advanced Technologies,
06560 - Ankara, Türkiye
Orcid: 0000-0001-5828-207X

^c Gazi University,
Faculty of Science
Department of Physics,
06560 - Ankara, Türkiye
Orcid: 0000-0003-4014-7800

*Corresponding author:
tugbacorlu@sdu.edu.tr

SILAR Yöntemiyle Üretilen SnO₂ İnce Filmin Yapısal, Morfolojik ve Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi

ÖZ

Geniş bant aralığı değeri ve geniş uygulamaları nedeniyle kalay dioksit (SnO₂) çok işlevli, kullanışlı bir malzemedir. Bu çalışmada, SnO₂ ince film, gümüş interdigital kontak üzerine 40 döngüde Ardışık İyonik Tabaka Adsorpsiyon ve Reaksiyon (SILAR) yöntemiyle büyütüldü. Yapısal ve morfolojik özellikler XRD, SEM ve UV analizleri ile incelendi. XRD analizi 20 ila 80 iki teta aralığında Cu K α kaynak kullanılarak alındı ve kristal yapının oluştuğu gözlemlendi. SEM analizi SnO₂ malzemesinin cam yüzey üzerine homojen biçimde büyüdüğünü gösterdi. Tauc grafiği, absorbans verileri kullanılarak çizildi. Grafikten yasak enerji aralığının 3.81 eV olduğu belirlendi. Urbach enerji grafiği çizildi ve Urbach enerji değeri 0.46 eV olarak hesaplandı. Elektriksel karakterizasyon için Keithley 2400 kaynak ölçer ve Lakeshore sıcaklık kontrolcüsü cihazı ile sıcaklığa bağlı olarak I-V ölçümleri yapıldı. Sıcaklığa bağlı direnç grafiği çizildi. Sıcaklığa bağlı direnç grafiği, artan sıcaklıkla direncin azaldığını gösterdi. Sıcaklığa bağlı Arrhenius grafiği çizilerek aktivasyon enerjileri hesaplandı. Sonuçlar, SnO₂ ince filmin gelecekteki elektriksel uygulamalarda kullanılabilir olduğunu gösterdi.

Anahtar Kelimeler: SnO₂, SILAR, Elektriksel Karakterizasyon

1. Introduction

Tin dioxide (SnO_2) is an easily available material with a wide band gap. These features allow it to be used in wide areas such as gas sensor applications [1], catalysts [2], optoelectronic device applications [3,4], etc. SnO_2 -based semiconductors present significant potential in gas sensors used to detect combustible gases due to their high sensitivity and detection accuracy [5].

SnO_2 has a wide bandgap (3.6 eV) and is an n-type semiconductor oxide. Compared to other elements in the Group-IV periodic table, the element Sn is a unique property that combines transparency and conductivity properties. These properties make it suitable for optically passive components in many devices. Application areas such as catalytic support materials in solar cells and sensor applications etc. activate the study of SnO_2 material [6]. It is very important to produce SnO_2 thin film with the appropriate method with its wide usage area. The selection of the appropriate one among many production methods also affects the cost.

Thin films are grown using physical and chemical techniques in academic and industrial studies. Physical, chemical, technological, technical and economic properties play a role in the selection of magnification technique. Physical vapor deposition method, sol-gel, chemical vapor deposition, spray pyrolysis, etc. these techniques require high temperatures and pressures, hence using these techniques thin film magnification becomes very costly.

SILAR is one of the newest thin-film growth methods. It is an aqueous solution technique that involves a series of sequential reactions at the solution and substrate interface. It is a simple method that allows thin films to be formed by immersing the substrate in a certain sequence in aqueous solutions containing ions of each species and precipitating it on the substrate. The SILAR technique is inexpensive, simple, and suitable for a wide range of precipitation. Since the reaction is carried out at or around room temperature and under pressure that envelops the solutions, various base materials such as insulators, semiconductors, metals and temperature-sensitive (such as polyester) can be used [7].

Compared to other growth techniques, SILAR is a thin film growth method that is simple, applied at low temperatures, does not require expensive equipment and does not waste material. By varying the number of cycles, the film thickness and deposition rate can be easily controlled [8].

In this work, we prepared SnO_2 thin film grown by the SILAR method. The electrical properties of the thin film are investigated.

2. Material and Method

In this work, the glass substrate was used. After cleaning the glass substrate, the interdigital contact has evaporated on the glass substrate's side. Then interdigital contact has been annealed under a nitrogen atmosphere (300°C, 15 min). After this process, SnO_2 material was grown by the SILAR method on the ready contacts.

To prepare the thin film, SnCl_4 of 0.1 M as a source for Sn and aqueous ammonia solution (NH_3 -28%) were used. As solvent deionized water was chosen and $[\text{Sn}(\text{NH}_3)_4]^{4+}$ complex was obtained for producing process. SnO_2 material was successfully grown on the substrates in the same order that we used in our previous work [9].

One SILAR cycle includes four steps and each step is shown in Figure 1. Yıldırım et. al. were investigated the characteristics of SnO_2 thin films prepared by SILAR for 60, 80, 100 and 120 SILAR cycles [10]. Alfaro Cruz et. al. were studied the development of SnO_2 -ZnO thin films as a photocatalyst for obtaining alternative fuels through photocatalytic reactions and they were used 60 SILAR cycle to produce SnO_2 -ZnO thin films [11]. Based on the studies and our observations, 40 cycles is an optimized number enough to grow SnO_2 thin film on the glass substrate. Thus, SnO_2 material was grown on both sides of the glass substrate.

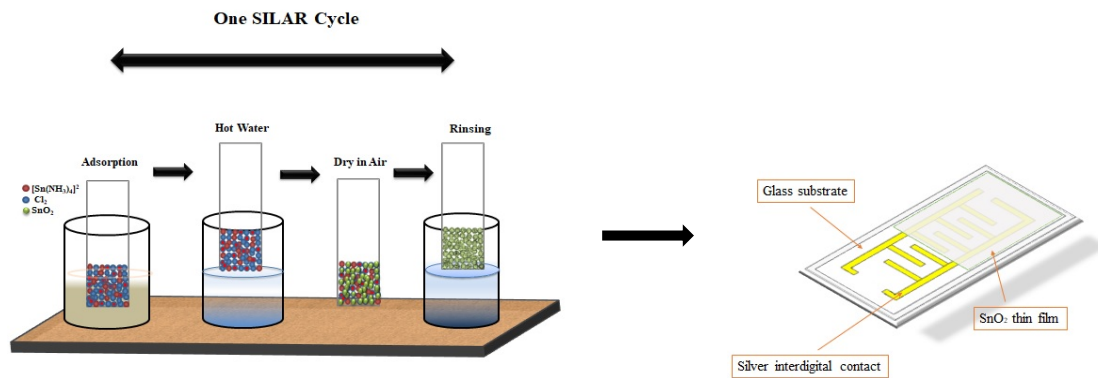


Figure 1. The schematic diagram of one SILAR cycle

3. Results and Discussion

The XRD pattern of the SnO₂ thin film was given in Figure 2. The measurement was taken between 20 and 80 two theta degrees. The pattern indicates the existence of a SnO₂ single phase as shown in Fig. 2. The XRD pattern is in good agreement with the 01-078-1063 PDF card of the orthorhombic phase. The peaks at $2\theta = 25, 26.89$ and 29.7° correspond to the (111), (112) and (113) planes of SnO₂, respectively.

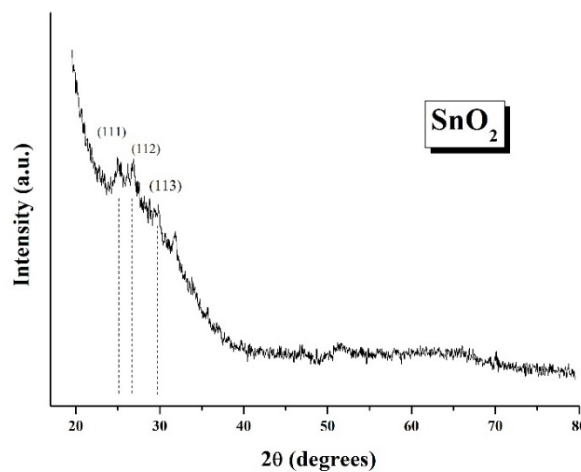
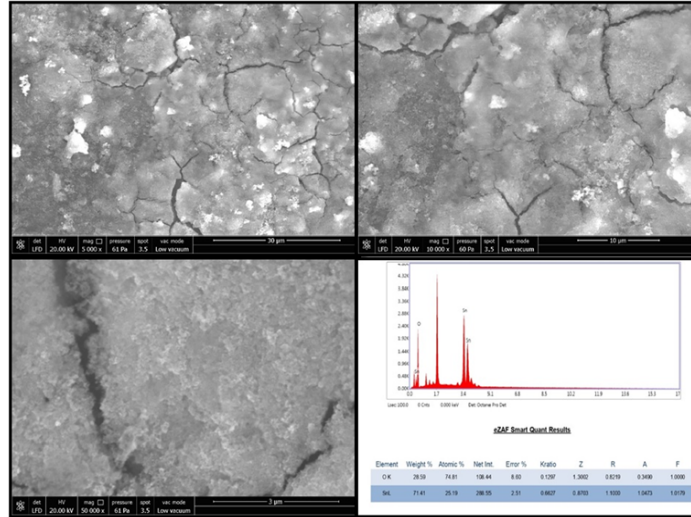
Figure 2. XRD pattern of SnO₂ thin film

Figure 3 shows SEM images taken using the FEI Quanta FEG 450 model SEM for different magnitudes of SnO₂ thin film. The images show that the SnO₂ material covers the entire surface. It was also observed that cracks formed on the surface as a result of 40 SILAR cycles. In addition to the bright regions, relatively dark regions are also seen in these images. Formations in dark areas consist of smaller grains or blanks. In addition, it is observed that an intense layering is formed on the surface of the base material. Besides, EDX results given in Table 1, also support the healthy growth of the structure.

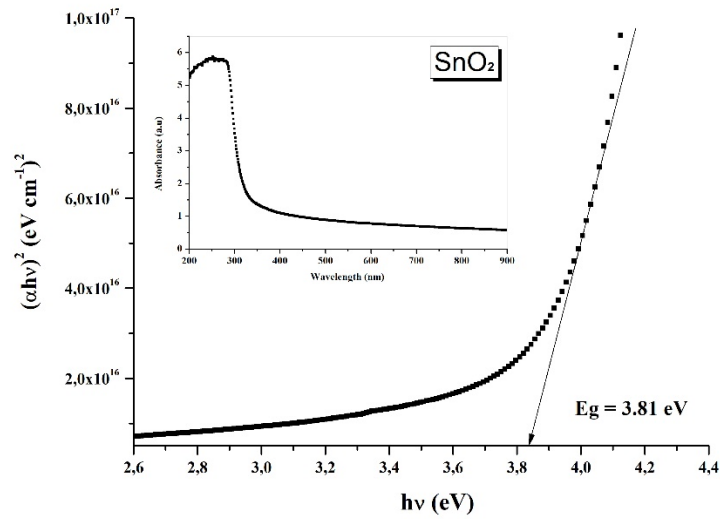
Fig. 4 shows the band gap graph of the SnO₂ thin film. The transition was plotted using the relative Tauc plot given in formula 1.

$$\alpha = \frac{A(h\nu - E_g)^n}{h\nu} \quad (1)$$

Here α is the absorption coefficient, $h\nu$ is the photon energy, A is constant and n is an exponent depending on the nature of the electronic transition ($n = 1/2$ indicates a permissible direct transition in SnO₂ nanoparticles) [12]. The bandgap energy is identified by extrapolating the linear part of the Tauc plot to the energy axis. The Tauc plot was plotted using $(\alpha h\nu)^2$ versus $h\nu$. The band gap energy was determined as 3.81 eV at the point where the line drawn on the straightest part of the graph intersects the $h\nu$ energy axis. The band gap energy value calculated using the absorption data is compatible with the literature [13].

Figure 3. SEM and EDX images of SnO₂ thin filmTable 1. Elements and their percentages in SnO₂ thin film.

Elements (%)	SnO ₂ Thin Film
O	74.81
Sn	25.19

Figure 4. Tauc's plot of optical bandgap for SnO₂

The Urbach energy is related to the disorder of the particles under analysis. Figure 5 shows the Urbach energy graph. The band tail energy or Urbach energy is related to the energy disorder at the band edge of a semiconductor. The Urbach Tail values can be calculated with using formula 2 [14].

$$\alpha = \alpha_0 e^{(E/E_u)} \quad (2)$$

where, α is the absorption coefficient, α_0 is constant, E is the photon energy, and E_u is the Urbach energy. The Urbach energy was obtained by plotting $\ln \alpha$ versus $h\nu$. SnO₂ thin film Urbach energy value calculated to 0.46 eV. However, the calculated value was found to be compatible with the literature [15].

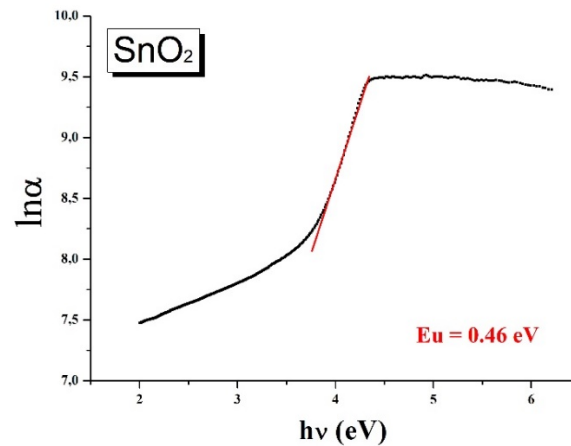
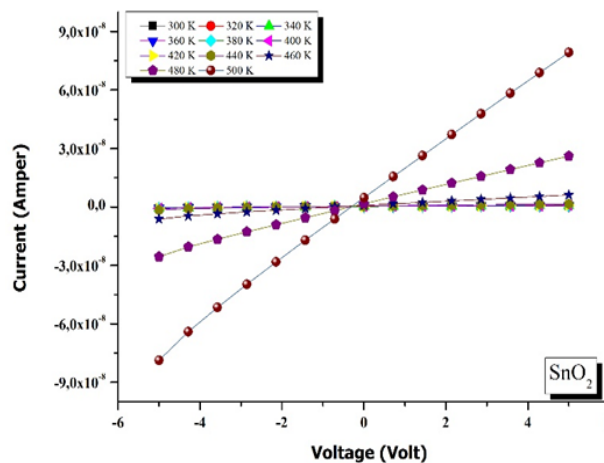
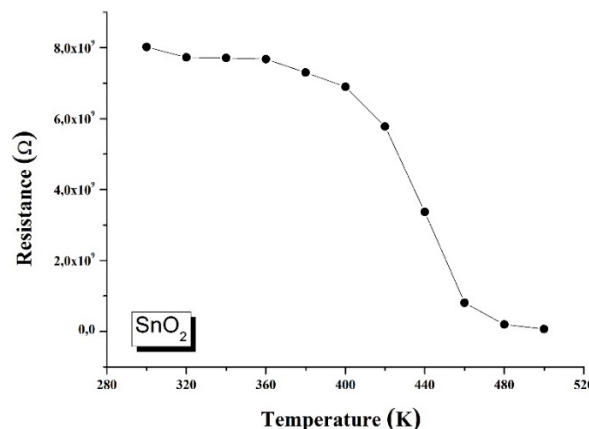
Figure 5. Band tail energy graph for SnO₂ thin film

Figure 6 shows the current-voltage characteristics for the different temperatures of SILAR-deposited SnO₂ thin films. The results show linear I-V relations under both forward and reverse bias indicating a good Ohmic contact behavior of the studied film. It's clearly seen that the electrical characteristics of SnO₂ thin film getting stabilized at high temperatures. All measurements were taken between -5 volt and + 5 volts.

Figure 6. Current -Voltage characteristic of SnO₂ thin film

If the number of charged particles in the environment increases and their kinetic energy is increased by heat, the charges in the valence band will pass to the conduction band and move in the lattice, thus initiating the electric current as well as increasing the current intensity. Thus, the resistance value of the material decreases with increasing temperature. The resistance values of the SnO₂ thin film was calculated from the slope of each temperature-dependent curve in the current-voltage graph and is given in graph 7. It was observed that the resistance of the SnO₂ material decreased with increasing temperature.

Figure 7. The plot of Resistance versus Temperature of SnO₂ thin film

An increase in the energies of the particles or a decrease in the activation energy means that the charges move more easily and contribute to easier conduction. Therefore, the electrical conductivity equation is empirically the Arrhenius equation, and the graph of $\ln(\sigma) - 1000/T$ drawn for conductivity can be called the Arrhenius curve. The activation energies were estimated using the Arrhenius formula 3 [16]:

$$\sigma = \sigma_0 \exp(-E_a/k_B T) \quad (3)$$

where σ_0 is a pre-exponential factor and E_a is the activation energy of the DC conductivity and k_B is the Boltzmann constant. Figure 8 depicts $\ln\sigma$ against temperature. It can be clearly stated that the conductivity increases with increasing temperature. At low temperatures below 400 °K, the graph stabilized [17]. The activation energies of the SnO₂ thin film in the high-temperature and low-temperature regions were calculated from the slopes of the graph in Figure 8. The calculated activation energies are compatible with the literature [18].

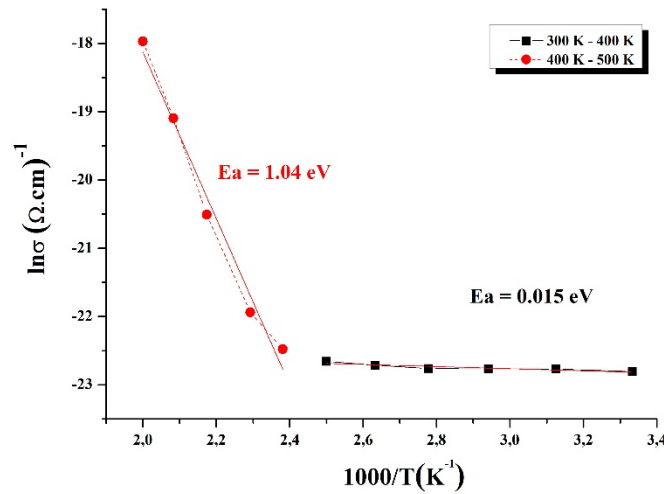


Figure 8. The plot of $\ln\sigma$ against $1000/T$ of SnO₂ thin film

3. Conclusion

In conclusion, SnO₂ thin film was produced by the SILAR method on glass substrate. XRD and SEM studies have shown that the SnO₂ thin film has a semi-crystalline structure with orthorhombic phase and covers the entire surface. The electrical properties were examined and the current-voltage results showed linear curves showing that the thin film has ohmic properties. The resistance values decreased with the increase in temperature. Using the Arrhenius formula, the activation energies for the two temperature regions were calculated as 0.015 eV and 1.04 eV at 300 °K - 400 °K and 400 °K - 500 °K, respectively. Thus, SnO₂ and its relatively low cost make it preferred in some applications that require a conductive layer on glass. As a result, SILAR was found to be a suitable method for coating SnO₂ thin films. The thin film results show that tin dioxide material is successfully grown on silver interdigital contact and it could be used in future electrical applications.

Conflict of Interest Statement

The authors declare that there is no conflict of interest

References

- [1] K. Suematsu, Y. Shin, Z. Hua, K. Yoshida, T. Kida and K. Shimano, "Nanoparticle Cluster Gas Sensor: Controlled Clustering of SnO₂ Nanoparticles for Highly Sensitive Toluene Detection," *ACS Applied Materials & Interfaces*, vol. 6, pp. 5319–5326, 2014. doi:10.1021/am500944a
- [2] N. Kamiuchi, T. Mitsui, N. Yamaguchi, H. Muroyama, T. Matsui, R. Kikuchi and K. Eguchi, "Activation of Pt/SnO₂ Catalyst for Catalytic Oxidation of Volatile Organic Compounds," *Catalysis Today*, vol. 157, pp. 415–419, 2010. doi:10.1016/j.cattod.2010.02.063
- [3] Y. Duan, J. Zheng, N. Fu, Y. Fang, T. Liu, Q. Zhang, X. Zhou, Y. Lin and F. Pan, "Enhancing the Performance of Dye-Sensitized Solar Cells: Doping SnO₂ Photoanodes with Al to Simultaneously Improve Conduction Band and Electron Lifetime," *Journal of*

Materials Chemistry A, vol. 3, pp. 3066–3073, 2015. doi:10.1039/C4TA05923A

[4] T. Jia, W. Wang, F. Long, Z. Fu, H. Wang and Q. Zhang, "Synthesis, Characterization, and Photocatalytic Activity of Zn-Doped SnO₂ Hierarchical Architectures Assembled by Nanocones," *Journal of Physical Chemistry C*, vol. 113, pp. 9071–9077, 2009. doi:10.1021/jp9021272

[5] K. Suematsu, N. Ma, M. Yuasa, T. Kida and K. Shimanoe, "Surface-modification of SnO₂ nanoparticles by incorporation of Al for the detection of combustible gases in a humid atmosphere," *The Royal Society of Chemistry*, vol. 5, pp. 86347–86354, 2015. doi:10.1039/c5ra17556a

[6] S. Das and V. Jayaraman, "SnO₂: A comprehensive review on structures and gas sensors," *Progress in Materials Science*, vol. 66, pp. 112–255, 2014. doi:10.1016/j.pmatsci.2014.06.003

[7] E. Fedakar Sakar, "SILAR Tekniği İle Büyütülen SnO₂ İnce Filmlerin Özelliklerinin Tavlama Sıcaklığına Bağlı İncelenmesi," Yüksek Lisans Tezi, Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzincan, 2016.

[8] T. Çorlu, I. Karaduman, M. A. Yıldırım, A. Ateş and S. Acar, "NH₃ sensing properties of nanostructure ZnO thin film prepared by SILAR method," *High Temperatures-High Pressures*, vol. 46, pp. 155–165, 2016.

[9] I. Karaduman Er, A. O. Çağırtekin, T. Çorlu, M. A. Yıldırım, A. Ateş and S. Acar, "Low-level NO gas sensing properties of Zn_{1-x}Sn_xO nanostructure sensors under UV light irradiation at room temperature," *Bulletin of Materials Science*, vol. 42 no.32, 2019. doi:10.1007/s12034-018-1714-z

[10] M. A. Yıldırım, Y. Akaltun and A. Ates, "Characteristics of SnO₂ thin films prepared by SILAR," *Solid State Sciences*, vol. 14 2012. doi:10.1016/j.solidstatesciences.2012.07.012

[11] M. R. Alfaro Cruz, A. Saldaña-Ramírez, I. Juárez-Ramírez and L.M. Torres-Martínez, "Development of SnO₂-ZnO thin films as a photocatalyst for obtaining alternative fuels through photocatalytic reactions," *Solid State Sciences*, vol. 137, 2023. doi:10.1016/j.solidstatesciences.2023.107112

[12] C. Khelifi and A. Attaf, "Influence of Ti doping on SnO₂ thin films properties prepared by ultrasonic spray technique," *Surfaces and Interfaces*, vol.18, 2020. doi:10.1016/j.surfin.2020.100449

[13] H. Khallaf, C. T. Chen, L. B. Chang, O. Lupan, A. Dutta, H. Heinrich, F. Haque, E. D. Barco and L. Chow, "Chemical bath deposition of SnO₂ and Cd₂SnO₄ thin films," *Applied Surface Science*, vol. 258, pp. 6069–6074, 2012. doi:10.1016/j.apsusc.2012.03.004

[14] B. Choudhury and A. Choudhury, "Oxygen defect dependent variation of band gap, Urbach energy and luminescence property of anatase, anatase-rutile mixed phase and of rutile phases of TiO₂ nanoparticles," *Physica E: Low-Dimensional Systems and Nanostructures*, vol. 56, pp. 364–371, 2014. doi:10.1016/j.physe.2013.10.014

[15] S. T. Bahade, A. S. Lanje and S. J. Sharma, "Synthesis of SnO₂ Thin Film by Sol-gel Spin Coating technique for Optical and Ethanol Gas Sensing Application," *International Journal of Scientific Research in Science and Technology IJSRST*, vol. 3, pp. 567-575, 2017.

[16] N. Haddad, Z. Ben Ayadi and K. Djessas, "Synthesis and characterization of antimony doped tin oxide aerogel nanoparticles using a facile sol-gel method," *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, vol. 29, pp. 721–729, October 2017. doi:10.1007/s10854-017-7965-4

[17] R. M. Agrawal, T. S. Wasnik, K. B. Raulkar and G. T. Lamdhade, "Study of DC Conductivity of Polypyrrole doped with SnO₂ Nanocomposites," *International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology IJSRSET*, vol. 4, pp. 1249-1253, 2018.

[18] N. F. Habubi, G. H. Mohamed, S. F. Oboudi and S. S. Chiad, "Structural and electrical properties of cobalt doped SnO₂ thin films," *Physical Chemistry: An Indian Journal PCAIJ*, vol.9, pp. 169-174, 2014.

*Bu makale 1st International Karatekin Science and Technology Conference isimli konferansta sunulmuş bildirinin genişletilmiş halidir.

This is an open access article under the CC-BY license



GAZİ

JOURNAL OF ENGINEERING SCIENCES

Effects of Cryogenic Treatment on the Microstructure, Hardness, and Wear Behavior of 1.2436 Steel

Nursel Altan Özbek ^{a,*}

Submitted: 19.01.2023 Revised: 12.03.2023 Accepted: 12.04.2023 doi:10.30855/gmbd.0705056

ABSTRACT

Keywords: Shallow cryogenic treatment/deep cryogenic treatment, 1.2436 steel, Hardness, Microstructure, Wear

^{a,*} Duzce University,
Dr. Engin PAK Cumayeri Vocational
School, Machine and Metal
Technologies Dept.
81700 - Düzce, Türkiye
Orcid: 0000-0003-3241-9423
e mail: nurselaltan@duzce.edu.tr

*Corresponding author:
nurselaltan@duzce.edu.tr

This study investigates the affects of cryogenic treatment on the hardness, wear resistance, and microstructure changes of 1.2436 steel. The study applied shallow at $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ for 6 hours and deep cryogenic treatment at $-180\text{ }^{\circ}\text{C}$ for 6 hours on quenched steel samples. In addition, the steel pieces were exposed to tempering at $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ for 2 hours at different stages. In the microstructure images, it was seen that the cryogenic treatment provided a more homogeneous carbide distribution in 1.2436 steel. The cryogenic treatment also substantially affected the wear resistance and hardness of 1.2436 steel. Deep cryogenic treatment provided higher hardness and wear resistance than shallow cryogenic treatment. The paramount hardness was acquired in the sample in which the tempering heat treatment was carried out between quenching and cryogenic treatment (QTDCT, 9.63% higher), and the paramount wear resistance was acquired in the piece in which the tempering heat treatment was performed after quenching and cryogenic treatment (QDCTT, 28.12% less wear rate).

Kriyojenik İşlemin 1.2436 Çeliğinin Mikro Yapısı, Sertliği ve Aşınma Davranışı Üzerindeki Etkileri

ÖZ

Bu çalışma, kriyojenik işlemin 1.2436 çeliğinin sertlik, aşınma direnci ve mikro yapı değişiklikleri üzerindeki etkilerini araştırmaktadır. Çalışmada su verilmiş çelik numunelere $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de 6 saat sıg ve $-180\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de 6 saat derin kriyojenik işlem uygulanmıştır. Ayrıca çelik parçalar farklı aşamalarda $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de 2 saat süreyle temperleme işlemine tabi tutulmuştur. Mikroyapı görüntülerinde kriyojenik işlemin 1.2436 çelikte daha homojen bir karbür dağılımı sağladığı görülmüştür. Kriyojenik işlem aynı zamanda 1.2436 çeliğin aşınma direncini ve sertliğini de önemli ölçüde etkilemiştir. Derin kriyojenik işlem, sıg kriyojenik işleme göre daha yüksek sertlik ve aşınma direnci sağlamıştır. En yüksek sertlik, su verme ile kriyojenik işlem arasında temperleme ısıl işleminin uygulandığı numunede, en yüksek aşınma direnci ise su verme ve kriyojenik işlemden sonra temperleme ısıl işleminin uygulandığı numunede elde edilmiştir (QDCTT, %28.12 daha az aşınma oranı).

Anahtar Kelimeler: Sığ kriyojenik işlem/derin kriyojenik işlem, 1.2436 çeliği, sertlik, Mikro yapı, Aşınma

1. Introduction

Metals are applied to various heat treatments to upgrade mechanical properties [1–3]. Known as complementary to traditional heat treatment, cryogenic treatment enhances metals' microstructural and mechanical properties [4–6]. High wear resistance is achieved in the material by forming very fine-grained carbide precipitates in the nucleation regions with the cryogenic treatment and converting residual austenite formed after conventional heat treatment into martensite [7–11]. The cryogenic treatment is applied by gradually cooling the material to a sub-zero temperature, keeping it at this temperature level for a certain time, and then gradually heating it to room temperature [12, 13]. Generally, two types of cryogenic processes, shallow and deep, are applied. Shallow cryogenic treatment is performed from -50°C to -100°C . A deep cryogenic process is applied between -125°C and -196°C [8, 12, 14].

Yıldız and Özbek [6] have stated that deep cryogenic treatment applied on AISI 431 martensitic stainless steel increased the hardness and yield strength of the steel sample by approximately 3.89% and 7.03%. However, it was determined that the cryogenically treated sample was worn about 62% less. Li et al. [15], in their study, they applied deep and shallow cryogenic treatment on 20CrNi2MoV steel and found that deep cryogenic treatment provided more hardness and wear resistance. Darwin et al. [16] studied the optimum cryogenic processing conditions for maximum wear resistance. Their study using SR34 steel detected that the deep cryogenic process provided better results than the shallow cryogenic process. On the other hand, Özbek et al. [17] researched the effects of deep and shallow cryogenic treatment on the hardness, wear resistance, and residual austenite phase of AISI H11 steel. Both types of cryogenic treatments reduced the residual austenite phase and improved mechanical properties. Deep cryogenic treatment provided a more remarkable recovery than shallow cryogenic treatment. Soleimany et al. [18] observed that deep cryogenic treatment on AISI H11 tool steel provides more hardness and wear resistance increase than shallow cryogenic treatment. Özbek and Özbek [7], in their study on Sverker 21 tool steel, observed that cryogenic treatment increased the hardness, wear resistance, and impact energy of steel samples. The deep cryogenic process provided better results than the shallow cryogenic process. Koneshlou et al. [19] subjected AISI H13 steel to deep and shallow cryogenic treatment and found that deep cryogenic treatment provides superior hardness, toughness, wear resistance, and tensile strength. Benselly et al. [20] reported that deep cryogenic treatment had a more plus influence on the fatigue strength of En 353 steel.

Zhirafar et al. [4] investigated the effects of tempering heat treatment temperature applied after cryogenic treatment on the mechanical properties of AISI 4340 steel. After quenching and deep cryogenic treatment for 24 hours on the steel samples, tempering heat treatments were applied at 200, 300, and 455°C . The highest hardness was obtained at the lowest tempering temperature, and it was observed that the hardness decreased with increasing tempering temperature. Molinari et al. [21] investigated the effects of tempering and cryogenic treatment sequence after quenching on the hardness and wear resistance of AISI M2 steel. In the study, quenching + 550°C for 2 hours double tempering (Q+T+T), quenching + double tempering + 35 hours deep cryogenic treatment (Q+T+T+C), quenching + deep cryogenic treatment + tempering (Q+C+T) and finally quenching + deep cryogenic treatment + double tempering (Q+C+T+T) heat treatments were applied. The highest hardness and the lowest wear were obtained in the sample that applied Q+T+T+C heat treatment. Baldissera and Delprete [12] applied four different heat treatment groups on 18NiCrMo5 carburized steel: case hardening + tempering (CH+T), case hardening + deep cryogenic treatment for 1 h + tempering (CH+DCT+T), case hardening + deep cryogenic treatment for 24 h + tempering (CH+DCT+T) and case hardening + tempering + deep cryogenic treatment for 24 h (CH+T+DCT). The highest tensile stress was observed in the CH+T+DCT sample, while the highest hardness was observed in the CH+DCT+T sample.

Many studies have shown that cryogenic treatment positively affects the mechanical properties of most material types. However, shallow cryogenic treatment gives better results on mechanical properties for some material types, while deep cryogenic treatment gives better results for some material types. On the other hand, tempering after cryogenic treatment is recommended because of secondary carbide precipitation [4] and residual stress reduction [22]. However, the effects of applying the tempering heat treatment before or after the cryogenic treatment on the mechanical and microstructural properties of 1.2436 steel are not yet known. For this reason, this study was carried out to close this gap in the literature. In this study, after quenching on 1.2436 steel, deep and shallow cryogenic

treatments were applied for 6 hours. After the quenching process, four different heat treatment cycles were applied on the steel pieces: tempering treatment (QT), shallow cryogenic treatment+tempering (QSCTT), deep cryogenic treatment+tempering (QDCTT), tempering+deep cryogenic treatment (QTDCT). The effects of these heat treatment cycles on the microstructure, microhardness and wear resistance of 1.2436 steel were investigated

2. Material and Methods

The chemical components of 1.2436 steel are in Table 1. 1.2436 steel specimens were subjected to quenching after being kept at 920 °C for 25 minutes. Then, heat treatments were applied with different types and different sequences. Table 2 presents the heat treatments applied in the study in detail.

The samples were grouped into QT, QSCTT, QDCTT, and QTDCT. The QT samples are tempered immediately after quenching. QSCTT specimens were exposed to shallow cryogenic treatment after quenching and then tempered. The QDCTT specimens were subjected to deep cryogenic treatment after quenching and then tempered. QTDCT samples were tempered after quenching, and deep cryogenic treatment was applied.

Table 1. Chemical components of 1.2436

Element	Cr	C	W	Mo	V	Si	Mn
Wt.%	11.58	2.28	0.59	0.24	0.14	0.25	0.4

Table 2. Details of heat treatments

Specimen	Heat treat details		
QT	Quenching	-	Tempering (300 °C, two h)
QSCTT	Quenching	Shallow cryogenic treatment (-80 °C, six h)	Tempering (300 °C, two h)
QDCTT	Quenching	Deep cryogenic treatment (-180 °C, six h)	Tempering (300 °C, two h)
QTDCT	Quenching	Tempering at 300 °C for two h	Deep cryogenic treatment (-180 °C, six h)

The surfaces of the parts were sanded, polished, and etched for the microstructure photographs. Microstructure photos were taken with Quanta-FEG 250 SEM device. The hardness of the steel samples was measured as a result of applying 500 grams of load in 20 seconds. Wear experiments were carried out at a sliding distance of 900 m, load of 30 N, and speed of 0.75 m/s. TRD Wear pin-on-disk device was used.

3. Findings and Discussion

Figure 1 shows the microstructure images of 1.2436 steel using an optical microscope. Carbide grains in all samples are visible in the microstructure images. All samples have large and small sizes of carbides. Large carbides are more concentrated in certain regions in the QT sample microstructure. Carbide distribution is more homogeneous in all cryogenically treated samples. On the other hand, the carbide content is higher in the deep cryogenically treated samples (Fig. 1c, 1d). From this, it can be said that the cryogenic treatment provides carbide precipitation in 1.2436 steel and provides a more homogeneous carbide distribution. Microstructure images were taken with SEM at 5000X magnification to perform microstructural analysis more accurately. EDX confirmed it analyzes in Figure 2 that the larger carbides in the microstructure images were M_7C_3 and the smaller ones were M_3C carbides. Cementite (M_3C/Fe_3C) is a Fe-rich carbide with an orthorhombic crystal structure. M_7C_3 (Cr_7C_3) has a hexagonal crystal structure. It is a carbide rich in Cr. It is founded in steels with moderate to high-Cr content and only moderate quantities of other carbide-forming alloying elements [23]. EDX analysis of the smaller carbides in the SEM images in Figure 2 confirmed that there are M_3C carbides with more Fe than Cr and some W and Mo. EDX analysis from the larger carbides confirmed the M_7C_3 carbide with more Cr than Fe.

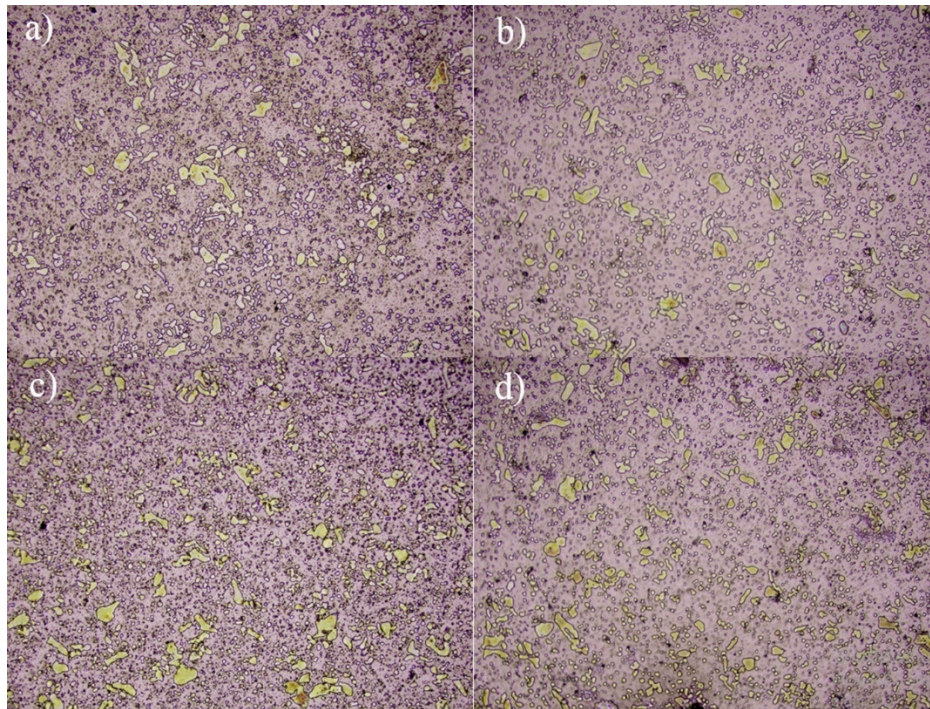


Figure 1. Optical microscope images of different heat-treated steel samples a) QT, b) QSCTT, c) QDCTT, d) QTDCT

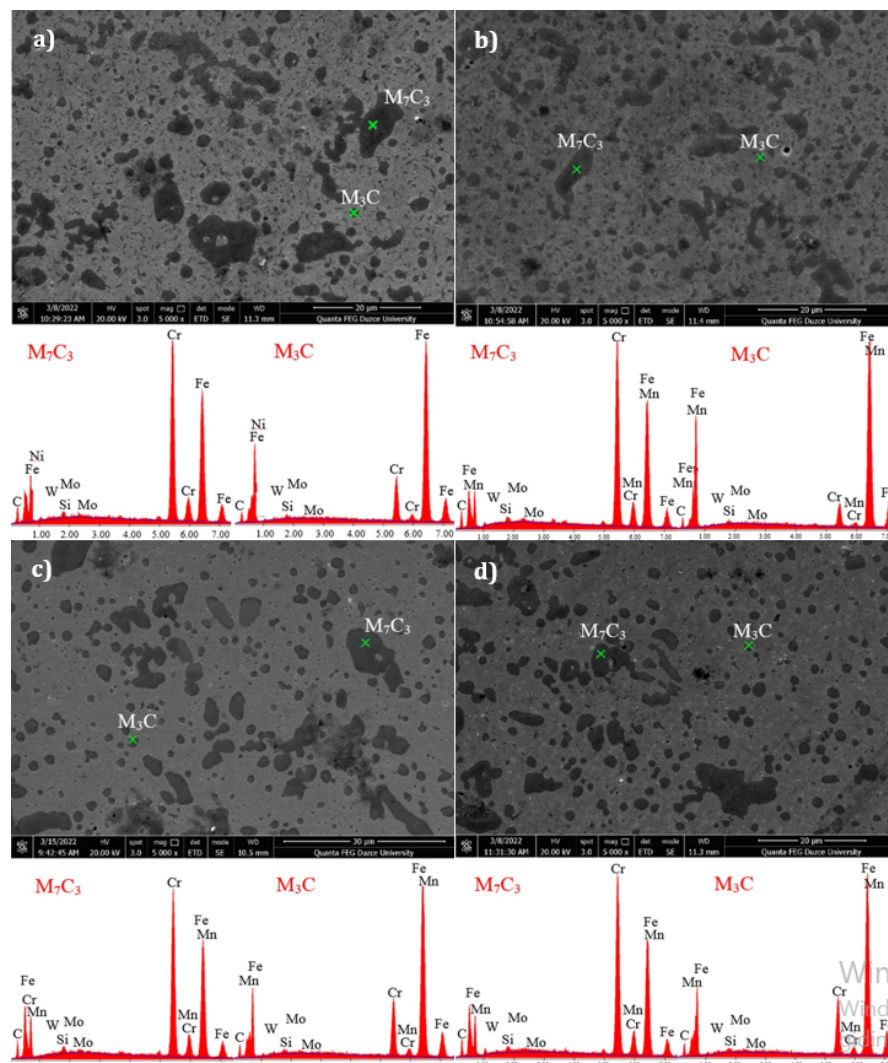


Figure 2. Microstructure of steel samples and EDX analysis of carbides a) QT, b) QSCTT, c) QDCTT, d) QTDCT

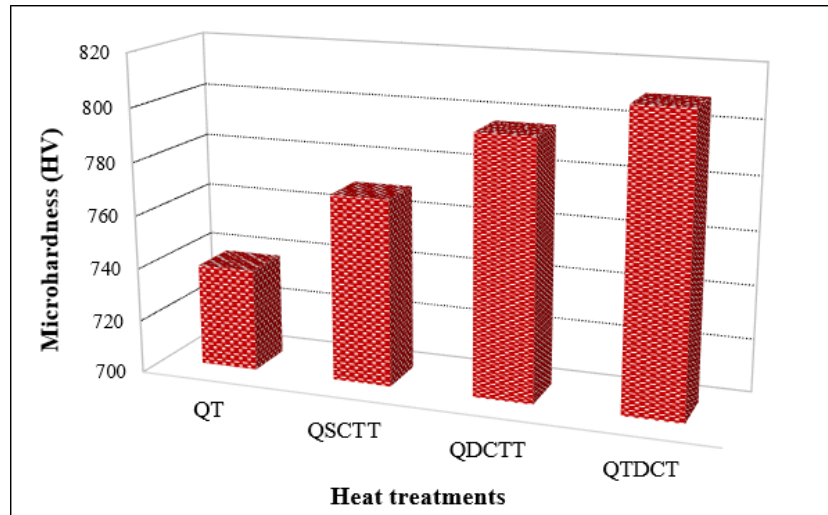


Figure 3. Microhardness change the graph of 1.2436 steel applied to different heat treatment cycles

Figure 4 shows the wear rates of 1.2436 steel specimens exposed to different heat-treatment cycles. In wear test results, it was seen that the cryogenically treated samples were less worn. This has been associated with the cryogenic treatment converting residual austenite to martensite, forming new carbide precipitates and a more uniform carbide dispersion, thereby increasing hardness and wear resistance. Deep cryogenic treatment provided a more wear resistance improvement than shallow cryogenic treatment. This is thought to be thanks to the deep cryogenic treatment providing more residual-austenite phase transformation and thus increasing the hardness. Among the deep cryogenically treated specimens, the tempered sample exhibited better abrasion performance after cryogenic treatment. The least worn sample is DCT+T. Compared to the QT sample, the QSCTT, QDCTT, and QTDCT samples were worn approximately 18.75%, 28.12%, and 21.87% less, respectively.

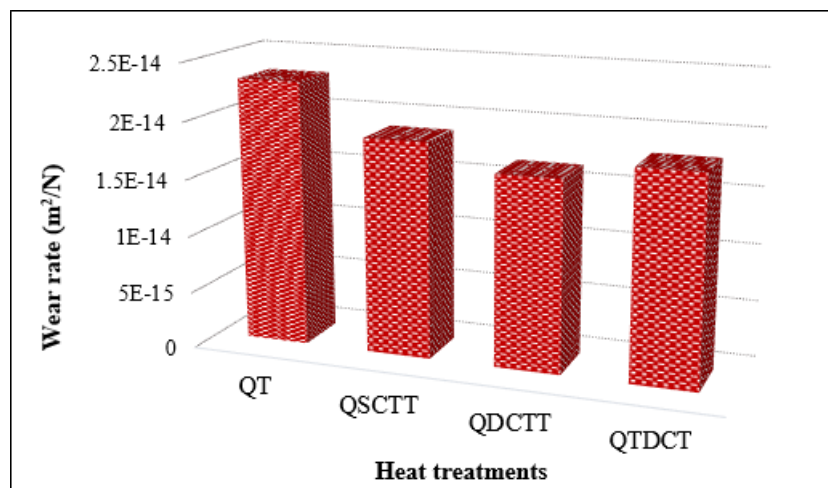


Figure 4. Wear rate change graph of 1.2436 steel applied to different heat treatment cycles

Figure 5 shows SEM images of worn surfaces of steel specimens after wear tests. It is seen that plastic deformation and adhesive delamination in the form of layers are dominant on the worn surfaces of all samples. In the adhesive delamination mechanism, flakes of material are pulled out from the surface during the test sample sliding on the disc. In addition, oxide debris was formed during wear. In general, it is seen that in all samples, wear occurs with the combination of plastic deformation and oxidation. On the other hand, it is observed that microcracks are formed in the QT sample. Wear is likely to increase further due to the rapid propagation of the first cracks formed in the early stages. The cryogenic treatment appears to play a significant role in preventing the growth of cracks, as it strengthens the microstructure by providing a smaller and more homogenous carbide distribution. In addition, this behaviour may be related to the conversion of residual austenite in the microstructure to martensite.

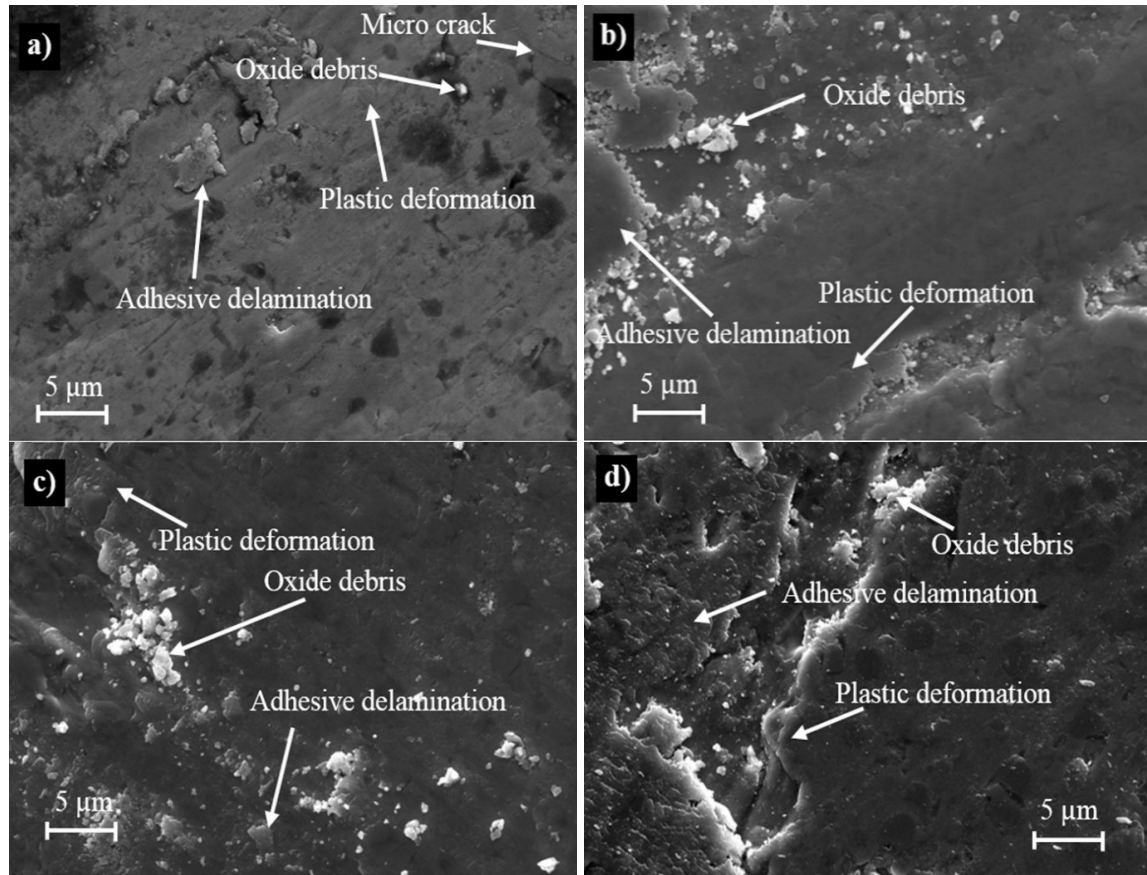


Figure 5. SEM images of worn surfaces as a result of the wear test a) QT, b) QSCTT, c) QDCTT, d) QTDCT

4. Conclusions

This study applied different treatment cycles to 1.2436 steel, including quenching+tempering, quenching + deep cryogenic treatment + tempering, quenching + shallow cryogenic treatment + tempering, quenching + tempering + deep cryogenic treatment. The effects of cryogenic treatment cycles applied under different conditions on microstructure, hardness, and wear resistance were investigated. The results obtained in the study are as follows.

- As a result of all heat-treatment cycles, M_3C and M_7C_3 carbides were formed in the steel samples. After cryogenic treatment, more carbide precipitation and more homogeneous carbide dispersion were observed in the steel samples. It was determined that the carbides in the deep cryogenic treated samples were dense than the shallow cryogenic treatment.
- The hardness of the cryogenically treated pieces is higher than the untreated samples. The deep cryogenic treatment produced a more significant increase in hardness. The greatest increase in hardness was measured in the QTDCT sample at a rate of approximately 9.63%.
- Wear tests have shown that cryogenic treatment has improved the wear resistance of 1.2436 steel. Samples with all cryogenic treatment cycles worn less than untreated samples. Both deep cryogenic treated samples wore less than shallow cryogenically treated samples. The maximal wear resistance was provided in the QDCTT specimen. Approximately 28.12% less worn compared to the QT sample.

Acknowledgments

This work is supported by Düzce University Scientific Project (2021.22.01.1177).

Conflict of Interest Statement

The author declared no conflict of interest.

References

- [1] E. Saraç and N. Altan Özbek, "Effect of tempering temperature on mechanical properties and microstructure of AISI 4140 and AISI 4340 tempered steels," *Materials Testing*, vol. 64, no. 6, pp. 832–841, 2022. doi:10.1515/mt-2021-2151
- [2] N. Altan Özbek and E. Saraç, "Effects of tempering heat treatment temperatures on mechanical properties of carbon steels," *Gazi Journal of Engineering Sciences*, vol. 7, no. 1, pp. 17–25, 2021. doi:10.30855/gmbd.2021.01.03
- [3] T. Teker, İ. S. Dalmış, and R. Yılmaz, "Effect of heat treatment on the wear behavior of GX200Cr13Ni6WMoMn," *Materials Testing*, vol. 61, no. 5, pp. 441–447, 2019. doi:10.3139/120.111339
- [4] S. Zhirafar, A. Rezaeian, and M. Pugh, "Effect of cryogenic treatment on the mechanical properties of 4340 steel," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 186, no. 1–3, pp. 298–303, 2007. doi:10.1016/j.jmatprotec.2006.12.046
- [5] A. Bensely, A. Prabhakaran, D. Mohan Lal, and G. Nagarajan, "Enhancing the wear resistance of case carburized steel (En 353) by cryogenic treatment," *Cryogenics*, vol. 45, no. 12, pp. 747–754, 2005. doi:10.1016/j.cryogenics.2005.10.004
- [6] E. Yıldız and N. Altan Özbek, "Effect of cryogenic treatment and tempering temperature on mechanical and microstructural properties of AISI 431 steel," *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, vol. 6, no. 1, pp. 74–82, 2022. doi:10.46519/ij3dptdi.1092720
- [7] N. Altan Özbek and O. Özbek, "Effect of cryogenic treatment holding time on mechanical and microstructural properties of Sverker 21 steel," *Materials Testing*, vol. 64, no. 12, pp. 1809–1817, 2022. doi:10.1515/mt-2022-0207
- [8] A. Akhbarzadeh, A. Shafyei, and M. A. Golozar, "Effects of cryogenic treatment on wear behavior of D6 tool steel," *Materials and Design*, vol. 30, no. 8, pp. 3259–3264, 2009. doi:10.1016/j.matdes.2008.11.016
- [9] R. Braun, "Slow Strain Rate Testing of Aluminum Alloy 7050 in Different Tempers Using Various Synthetic Environments," *Corrosion (Houston)*, vol. 53, no. 6, pp. 467–474, 1997. doi:10.5006/1.3280489
- [10] N. Altan Özbek and O. Özbek, "Investigation of the effects of shallow cryogenic treatment on the mechanical and microstructural properties of 1.2436 tool steel," *Journal of Materials and Mechatronics: A (JournalMM)*, vol. 3, no. 2, pp. 151–162, 2022. doi:10.55546/jmm.1113194
- [11] N. A. Özbek, A. Çiçek, M. Gülesin, and O. Özbek, "Investigation of the effects of cryogenic treatment applied at different holding times to cemented carbide inserts on tool wear," *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 86, pp. 34–43, 2014. doi:10.1016/j.ijmactools.2014.06.007
- [12] P. Baldissera and C. Delprete, "Effects of deep cryogenic treatment on static mechanical properties of 18NiCrMo5 carburized steel," *Materials and Design*, vol. 30, no. 5, pp. 1435–1440, 2009. doi:10.1016/j.matdes.2008.08.015
- [13] N. A. Özbek, "Effects of cryogenic treatment types on the performance of coated tungsten tools in the turning of AISI H11 steel," *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 9, no. 4, pp. 9442–9456, 2020. doi:10.1016/j.jmrt.2020.03.038
- [14] O. Özbek, "Investigation of the effects of cryogenic process on friction sStir welding," *Gazi Journal of Engineering Sciences*, vol. 8, no. 3, pp. 472–479, 2022. doi:10.30855/gmbd.0705035
- [15] B. Li, C. Li, Y. Wang, and X. Jin, "Effect of cryogenic treatment on microstructure and wear resistance of carburized 20CrNi2MoV steel," *Metals*, vol. 8, no. 10, p. 808, 2018. doi:10.3390/met8100808
- [16] J. D. Darwin, D. Mohan Lal, and G. Nagarajan, "Optimization of cryogenic treatment to maximize the wear resistance of 18% Cr martensitic stainless steel by Taguchi method," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 195, no. 1–3, pp. 241–247, 2008. doi:10.1016/j.jmatprotec.2007.05.005
- [17] N. Altan Özbek, O. Özbek, and F. Kara, "Investigation of The Effects of Cryogenic Treatment on AISI H11 Steel," *International Marmara Science and Social Sciences Congress (IMASCON)*, November 2018, Kocaeli, Türkiye, pp. 1936–1942, Available: https://www.researchgate.net/profile/Nursel-Oezbek/publication/356143988_Investigation_of_the_effects_of_cryogenic_treatment_on_AISI_H11_steel/links/618d28c2d7d1af224bd5e3b4/Investigation-of-the-effects-of-cryogenic-treatment-on-AISI-H11-steel.pdf
- [18] J. Soleimany, H. Ghayour, K. Amini, and F. Gharavi, "The Effect of Deep Cryogenic Treatment on Microstructure and Wear Behavior of H11 Tool Steel," *Physics of Metals and Metallography*, vol. 120, no. 9, pp. 888–897, 2019. doi:10.1134/S0031918X19090035
- [19] M. Koneshlou, K. Meshinchi Asl, and F. Khomamizadeh, "Effect of cryogenic treatment on microstructure, mechanical and wear behaviors of AISI H13 hot work tool steel," *Cryogenics*, vol. 51, no. 1, pp. 55–61, 2011. doi:10.1016/j.cryogenics.2010.11.001
- [20] A. Bensely et al., "Fatigue behaviour and fracture mechanism of cryogenically treated En 353 steel," *Materials and Design*, vol. 30, no. 8, pp. 2955–2962, 2009. doi:10.1016/j.matdes.2009.01.003
- [21] A. Molinari, M. Pellizzari, S. Gialanella, G. Straffelini, and K. H. Stiasny, "Effect of deep cryogenic treatment on the mechanical properties of tool steels," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 118, no. 1–3, pp. 350–355, 2001. doi:10.1016/S0924-0136(01)00973-6

- [22] A. Bensely, S. Venkatesh, D. Mohan Lal, G. Nagarajan, A. Rajadurai, and K. Junik, "Effect of cryogenic treatment on distribution of residual stress in case carburized En 353 steel," *Materials Science and Engineering A*, vol. 479, no. 1-2, pp. 229-235, 2008. doi:10.1016/j.msea.2007.07.035
- [23] G. F. Vander, *Metallographic techniques for tool steels, in Metallographic techniques for tool steels*, Ohio, ASM International, 2004. doi:10.31399/asm.hb.v09.9781627081771
- [24] C. sheng Li, B. zhou Li, X. Jin, and Y. Wang, "Microstructure and mechanical properties in core of a carburizing 20CrNi2MoV bearing steel subjected to cryogenic treatment," *Journal of Iron and Steel Research International*, vol. 28, no. 3, pp. 360-369, 2021. doi:10.1007/s42243-020-00516-8
- [25] D. hui Li et al., "Effects of traditional heat treatment and a novel deep cryogenic treatment on microstructure and mechanical properties of low-carbon high-alloy martensitic bearing steel," *Journal of Iron and Steel Research International*, vol. 28, no. 3, pp. 370-382, 2021. doi:10.1007/s42243-020-00527-5
- [26] A. Bensely, D. Senthilkumar, D. Mohan Lal, G. Nagarajan, and A. Rajadurai, "Effect of cryogenic treatment on tensile behavior of case carburized steel-815M17," *Materials Characterization*, vol. 58, no. 5, pp. 485-491, 2007. doi:10.1016/j.matchar.2006.06.019
- [27] F. Kara, O. Özbek, N. Altan Özbek, and İ. Uygur, "Investigation of the effect of deep cryogenic process on residual stress and residual austenite," *Gazi Journal of Engineering Sciences*, vol. 7, no. 2, pp. 3-11, 2021. doi:10.30855/gmbd.2021.02.07
- [28] E. El, F. Kara, and O. Özbek, "Researching the effect of shallow cryogenic treatment on the metallurgical features of sleipner cold work tool steel," *Gazi Journal of Engineering Sciences*, vol. 7, no. 2, pp. 111-120, 2021. doi:10.30855/gmbd.2021.02.04
- [29] D. Das, A. K. Dutta, and K. K. Ray, "Sub-zero treatments of AISI D2 steel : Part I . Microstructure and hardness," *Materials Science and Engineering A*, vol. 527, pp. 2182-2193, 2010. doi:10.1016/j.msea.2009.10.070
- [30] K. S. Sekar and S. N. Murugesan, "Enhancement of Wear Resistance of D-3 Piercing Punches by Applying Cryogenic Treatment: Field and Laboratory Investigations," *Transactions of Famena*, vol. 42, no. 3, pp. 71-86, 2018. doi:10.21278/TOF.42305.

This is an open access article under the CC-BY license



GAZİ

JOURNAL OF ENGINEERING SCIENCES

Secure Message Transmission Via Object Detection Verification Using Images Encoded With Lehmer Algorithm Based Random Key

Simay Hoşmeşve^{a*}, Arda Cem Bilecan^b, Bahadır Karasulu^c, İsmet Ünlü^d

Submitted: 28.10.2022 Revised: 11.02.2023 Accepted: 04.03.2023 doi:10.30855/gmbd.0705057

ABSTRACT

Nowadays, the successful transmission of data between end users, data protection and confidentiality are important issues. In our study, a system that ensures the transmission of bitwise encrypted images in pixel color matrix information based on the Lehmer algorithm for the generation of random keys over an end-to-end reliable communication channel and guarantees accuracy validation has been created. Using the deep learning model, metadata is created with the properties of the detected objects in the image scene. In the study, structured data is created in Base64 encoding format after encryption is done by the sender end of the message using the Lehmer algorithm. This message is transmitted end-to-end to the receiving party over the secure transmission channel. Finally, the encoded version of the image and the metadata information are extracted from the structured data exchange and transfer file containing the detection information of the objects in the image scene in the message packet reaching the receiver end, and also, decryption is performed. On the receiver end, object detection results of the deep learning model are compared with the decrypted information obtained from this file, and an objective verification of the accuracy of the message is also performed. Considering the average values in the experiments, the average values with the data obtained from three different data sets are for the Number of Pixels Change Rate (NPCR) 99.61%, the Unified Average Changing Intensity (UACI) 14.70%, and also, the maximum average entropy value is obtained 7.9999 for encrypted images. In our study, discussions and evaluations based on scientific findings are included.

Keywords: Random number, encryption, deep learning, data communication

^{a*} EyeCU Vision,
20816-Maryland,
Amerika Birleşik Devletleri.
Orcid: 0000-0001-8478-3126
e mail: simayhosmeyve@gmail.com

^b NTT Data Business Solutions,
34746 – Ataşehir, İstanbul, Türkiye.
Orcid: 0000-0002-0455-337X

^c Çanakkale Onsekiz Mart University,
Engineering Faculty,
Dept. of Computer Engineering,
17020 – Çanakkale, Türkiye.
Orcid: 0000-0001-8524-874X

^d Smartin Information
Technologies LTD,
34306 – Başakşehir,
İstanbul, Türkiye.
Orcid: 0000-0002-6949-8666

*Corresponding author:
simayhosmeyve@gmail.com

Lehmer Algoritması Tabanlı Rastgele Anahtar ile Şifrelenmiş Görüntüleri Kullanarak Nesne Tespitli Doğrulama Yoluyla Güvenli Mesaj İletimi

ÖZ

Günümüzde son kullanıcılar arası verinin başarılı iletimi, verinin korunması ve gizlilik önemli konulardır. Çalışmamızda, uçtan uca (end-to-end) güvenilir bir iletişim kanalı üzerinden rastgele anahtar üretimi için Lehmer algoritması tabanlı piksel renk matris bilgilerinde bit bazında şifrelenmiş görüntülerin iletilmesini sağlayan ve doğruluk geçerlemesini garanti eden bir sistem oluşturulmuştur. Derin öğrenme modeli kullanılarak görüntü sahnesi içerisindeki tespit edilen nesnelerin özellikleri ile üst veri oluşturulmaktadır. Çalışmada, mesajın göndericisi tarafından Lehmer algoritması kullanılarak şifreleme yapıldıktan sonra Base64 kodlama formatında yapılandırılmış veri oluşturulmaktadır. Güvenli iletim kanalı üzerinden bu mesaj alıcı tarafa uçtan uca iletilir. Son olarak alıcı tarafa ulaşan mesaj paketindeki görüntü sahnesi içerisindeki nesnelerin tespit bilgilerini içeren yapılandırılmış veri değişim ve aktarım dosyasından görüntünün kodlanmış hali ve üst veri bilgileri ayıklanarak şifre çözümü yapılmaktadır. Alıcı tarafta derin öğrenme modelinin nesne tespit sonuçları bu dosyadan elde edilen deşifrelenmiş bilgi ile kıyaslanarak mesajın doğruluğunun geçerlemesi şeklinde nesnel sağlanması da yapılmaktadır. Yapılan deneylerdeki ortalama değerler göz önüne alındığında üç farklı veri kümesinden elde edilen veriler için ortalama değerler olarak Piksel Sayısı Değişim Hızı (NPCR) %99,61, Birleşik Ortalama Değişme Yoğunluğu (UACI) %14,70 ve ortalama entropi değeri ise şifrelenmiş görüntüler için azami 7,9999 değerinde ölçülmüştür. Çalışmamızda bilimsel bulgulara dayanan tartışma ve değerlendirmelere yer verilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Rastgele sayı, şifreleme, derin öğrenme, veri iletişimi

1. Giriş (Introduction)

Günümüzde veri miktarının artmasıyla beraber çeşitli ortamlardan (ses, görüntü, video) elde edilen anlamlandırılması gereken ham veriler bulunmaktadır. Bu anlamlandırma için ilk önce var olan ses veya video sahnesindeki nesnelerin sağlıklı bir biçimde tespit edilmesi gerekmektedir. Ardından veri güvenliği için veri iletimine temel oluşturması adına şifreleme mekanizmaları ve algoritmaları sıklıkla kullanılmaktadır.

Çalışmamızda veri şifrelemesini sağlamak için sözde rastgele sayı üretici olarak Lehmer Algoritması seçilmiştir [1]. Üretilen sözde rastgele sayılar ile üretilen anahtarlar görüntülerin şifrenmesinde kaynak olarak kullanılmıştır. Üretilen anahtarların mantıksal Özel VEYA (eXclusive OR, XOR) işlemlerinde kullanılabilmesi için görüntünün her bir piksel değeri göz önüne alınarak 8 bit değerine uygun normalizasyon işlemi de yapılmıştır. Böylece Lehmer algoritması tabanlı elde edilen rastgele anahtar görüntü şifreleme ve deşifrelemede başarıyla kullanılmıştır.

Mesaj Kuyruklama Telemetri İletimi (Message Queueing Telemetry Transport, MQTT) [2, 3] protokolü, iletişime dahil olan makinalar arasında (machine-to-machine, M2M) mesaj gönderimi tabanlı güvenli bir iletişim protokolüdür. Daha çok Nesnelerin İnterneti (Internet of Things, IoT) [4] ekosistemlerinde kullanılır. Nesnelerin İnterneti fiziksel nesneler arası veya dış sistemlerle oluşturulan veri alışverişi veya nesneler arası senkronizasyon sağlayan bir iletişim ağıdır. Bu protokol, İstek ile Yanıt yapısına [5] dayalı olmakla beraber abone için yayın (broadcast-to-subscriber) bağlantısında TCP/IP [6, 7] bağlantısı kurar. Bu sayede pek çok işletim sistemlerinde kullanılabilir.

Derin öğrenme, düşük seviyeli özniteliklerin elde edilmesiyle oluşturulan belirli bir sınıflandırma esnasında daha yüksek seviyeden anlamsal olarak zengin özniteliklerin öğrenilmesini amaçlayan günümüzde literatürdeki çalışmalarda sıklıkla kullanılan başarıyı yüksek bir makine öğrenmesi alt alanıdır. Bu alt alandaki modeller, yoğunlukla yapay sinir ağlarının katmanlı yapısının uygun sayıda hesapsal öge ve katman ile derinleştirilerek, verinin filtrelenmesi ve belirgin özniteliklere dayanan daha doğru bir sınıflandırma ve tespit işleminin yapılabilmesini sağlamaktadır. Buna literatürde sıklıkla *Temsili Öğrenme (representation learning)* denilmektedir [8].

Sadece Bir Kez Bak (You Only Look Once, YOLO) derin öğrenme modeli, nesne tespiti ve sınıflandırma alanında son yıllarda oldukça popülerliği artması nedeniyle hem etkinliği hem de sınıflandırma başarımının yüksek oluşu ndan dolayı literatürdeki çalışmalarda tercih edilir olmuştur [9]. YOLO modeli transfer öğrenmeyi de kullanması nedeniyle önceden eğitilmiş olarak çok sayıda sınıfı görüntüdeki sahne içerisindeki kalan nesnelere sınırlayıcı kutu tabanlı olarak tespit ve sınıflandırmasını yapabilmektedir. Çalışmamızda YOLO derin öğrenme modeli kullanılarak deneylerde kullanılan görüntülerin sahne içeriklerindeki nesnelere hakkındaki bilgiler şifrelemesi yapılan görüntüler ile birlikte alıcı makinelere üst veri (metadata) biçiminde JavaScript Nesne Gösterimi (JavaScript Object Notation, JSON) formatlı paket içerisinde MQTT güvenli iletişim kanalı üzerinden iletilmektedir.

Zıt Dil Görüntü Ön Eğitimi (Contrastive Language-Image Pretraining, CLIP) derin öğrenme modeli ile çalışmamızda önceden eğitilmiş derin sinir ağır modellerinin ağırlıkları kullanarak sıfır örnek (zero shot) ile öğrenme yöntemi ile kullanıcının gönderebileceği görüntü çeşitliliğine karşı başarılı bir şekilde tahmin edebilmek hedeflenmiştir [10]. CLIP modeli girdi olarak görüntü verisini alarak metin ile eşleştirmekte ve etiket olarak görüntüde en yoğun olarak bulunan sınıfı metin olarak vermektedir. MQTT bağlantısı ile veri iletiminde gönderilecek mesaj içerisinde görüntü üzerinden elde edilen metinsel sonuç alıcı için gönderinin başarılı bir şekilde alındığına dair bir doğrulama aracı olarak kullanılmaktadır.

Çalışmamızın ana amacı uçtan uca (end-to-end) güvenilir bir iletişim kanalı üzerinden Lehmer algoritması tabanlı şifrelenmiş görüntülerin iletilmesini sağlayan bir sistem oluşturulmasıdır. Görüntü iletimine ve görüntülerdeki nesne çeşitliliğine dayanan doğrulama ve geçirme başarımı tüm sistem için göz önüne alınmıştır. Bu nedenle sistemin iletilen verideki şifreleme ve deşifreleme doğruluğu çeşitli ölçütlerle ölçülmüştür. Literatürde, şifre kırmaya yönelik diferansiyel ve lineer saldırıya dayanıklılık başarımı olarak görüntü şifreleme yönteminin başarısını ölçen bahsi geçen ölçütler ile sistemin ana amacına ulaştığı deneylerle kanıtlanmıştır. Ayrıca, ilgili nesne sınıfları bazında nesne tespitine dayanan başarımı çalışmamızdaki deneysel sonuçlarla ortaya konulmuştur. Literatürdeki

çalışmalara bakıldığında, sadece bit bazında (bitwise) mantıksal Özel VEYA (eXclusive OR, XOR) işlemi tabanlı şifreleme yaklaşımları, sözde rasgele sayı üretiminde Doğrusal Eşleşmeli Üreteçler (Linear Congruential Generator, LCG) kullanımı, YOLO [12] derin öğrenme modeli kullanılarak sadece ilgilenilen bölge (Region of Interest, ROI) üzerinden kısıtlı bilgiyle şifreleme yapılan deneyler bulunmaktadır [11, 13-15]. Bu açıdan önceki çalışmaların aksine sadece ilgilenilen bölge değil, çalışmamızdaki deneylerde kullanılan tam ölçekli görüntülerin YOLO derin öğrenme modeli kullanılarak sahne içeriklerindeki nesnelere hakkındaki bilgilerin tam olarak çeşitlerine göre elde edilmesiyle oluşan üst veri (metadata) kullanılmıştır. Bu üst verinin yanı sıra bu şifreleme yapılan görüntüler de Base64 ile kodlanarak (Base64 encoding) şifrelenmiş görüntünün iletildiği alıcı makinelere JavaScript Nesne Gösterimi (JavaScript Object Notation, JSON) formatlı veri paketi içerisinde güvenli iletişim kanalı üzerinden iletilmektedir. Çalışmamızın ele aldığı güvenli iletişim kanalı üzerinden şifrelenmiş tam ölçekli görüntülerin iletimi ve deşifreleme ile doğrulama adına nesne tespitinde derin öğrenmenin kullanımı yoluyla uygun bir sistemin oluşturulması sayesinde literatürdeki çalışmalara karşın temel farklılık ve öne çıkan katkı oluşmaktadır. Çalışmamızın literatüre ana katkısı; genel kullanıcı için güvenli kanaldan iletilen şifrelenmiş görüntüdeki nesnelere sınıflarının doğru tespitine dayanan bir şifreleme ilâ deşifreleme tabanlı nesne tespiti gerçekleştirilmesini garanti etmesidir. Buna göre; literatürde sıklıkla kullanılan başarımları yüksek derin öğrenme modeline dayanan altyapıyla kullanıcının görüntü iletiminde nesne çeşitliliğine bağlı kalmadan güvenilir iletişim kanalı üzerinden şifre kalitesi yüksek olduğu ilgili saldırıya dayanıklılık ölçütleriyle betimlenmiştir. Bu sayede görüntüleri mesajlaşma yoluyla ileten bu güvenilir sistemi kullanıcının sorunsuzca kullanımının sağlanmıştır.

Bu çalışma altı bölüme ayrılmıştır. İkinci bölümde literatürdeki önceki çalışmalara yer verilmekte, üçüncü bölümde materyal ve yöntem olarak Lehmer algoritması ile rastgele sayı üretimi, derin öğrenme ile nesne tespiti için derin sinir ağı modellerinden bahsedilmektedir. Dördüncü bölümde çalışmamızda temel altyapıyı oluşturan önerilen sistemin detaylarına yer verilmektedir. Beşinci bölümde deneysel sonuçlara yer verilirken, altıncı bölümde ise bilimsel olgulara dayanan tartışma ve değerlendirme sunulmaktadır.

2. Önceki Çalışmalar (Related Work)

Sözde rastgele sayı üreteçleri ile görüntü şifreleme üzerine literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde Banthia ve Tiwari [11] 2013 yılındaki çalışmasında Doğrusal Eşleşmeli Üreteçler (Linear Congruential Generator, LCG) kapsamında "ImageEncryptLCG" adıyla geçen "Doğrusal Uyumlu Üreteç" algoritması ve "ImageEncryptionChaos" adıyla geçen kaotik haritalama algoritmaları bazlı olan algoritma ile orijinal şifrelenmiş görüntüler arasında bilimsel ölçütler karşılaştırmasını incelemişlerdir. Banthia ve Tiwari ismi geçen iki yöntemin de seçilen doğru parametre değerleri ile başarılı sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir. Çalışmamızda kullanılan Lehmer üreteci, "ImageEncryptLCG" algoritmasının düzenlenmiş bir çeşididir.

Viswanatha ve arkadaşları [12] 2022 yılındaki çalışmasında YOLOv4'ün mimarisinden, performans ölçütlerinden ve veri kümesinin içeriğinin başarımları sonuçlarına etkisinden bahsetmişlerdir. Viswanatha ve arkadaşlarının hayvan sınıflandırması üzerinde yaptıkları testte veri kümesinin büyütülmesi ile daha özelleştirilmiş ayrımların yapılabildiğinden ve nesne konumlandırmalarının sonuçlarda etkili olduğunu tespit etmişlerdir. Araştırmacılar yaptıkları versiyon karşılaştırmalarında YOLO'nun ikinci ana sürümü olarak bilinen YOLOv4'ün hız ve doğruluk için en yüksek sonuçları verdiği sonucuna varmışlardır.

Oğraş ve Tür [13] 2022 yılındaki çalışmasında etkili bir görüntü şifreleme yapmak amacıyla yeni yöntemler oluşturup denemişlerdir. Bu çalışmada kaotik haritalar olarak bilinen "Lojistik Harita" ve "Sinüs Haritası" temel alınarak yeni bir kaotik harita oluşturulmuştur. Oğraş ve Tür'ün oluşturdukları kaotik harita iyi bir şifreleme için gerekli olan rastgeleliği oluşturmayı başarmışlardır. Çalışmada bit tersine çevirme yöntemi ve yeni kaotik harita kullanılarak daha fazla karmaşıklığa sahip ve öngörülemez şifrelemeler yapılmıştır.

Somaraj ve Hussain [14] 2014 yılındaki çalışmasında görüntü şifreleme ve deşifreleme için XOR işleminin iki yöntemle kullanmışlardır. Çalışmada tıbbi görüntülerin şifrelenmesi amaçlanmıştır. İlk yöntemde görüntü XOR işlemi kullanılarak anahtar görüntü ile şifrelenmiştir. İkinci yöntemde anahtar görüntüsünün bit düzlemlerinden biri orijinal görüntüde şifreleme için kullanılmış ve karıştırma

yapılmıştır. Kullanılan bu yöntemler ölçüm sonuçlarında başarılı kabul edilmiştir ve farklı görüntü türlerinde de uygulanabilir. Kang ve Choi [15] 2021 yılındaki çalışmasında görüntü şifreleme sisteminin hesaplama maliyetini azaltmayı ve yeterli güvenlik sağlamayı amaçlamışlardır. Görüntüde önemli görülen bölge YOLO modeli ile tespit edilmiş ve böylece şifreleme yapılacak ilgi alanı belirlenmiştir. YOLO modeli ile tespit edilerek kırılan bölge kaotik bazlı ve yüksek güvenli bir sistem ile şifrelenmiştir. Kang ve Choi şifreleme hızını arttırmak için görüntüde piksel karıştırma işlemi uygulamışlardır.

Tüm bu çalışmalar göz önüne alındığında çalışmamızdaki oluşturulan sistem, uçtan uca (end-to-end) güvenilir bir iletişim kanalı üzerinden Lehmer algoritması tabanlı şifrelenmiş görüntüleri ve bunların yanı sıra ilgili sahne hakkındaki üst veriyi (metadata) içerecek şekilde iletilir. Bu sistem son kullanıcı tarafından kullanımında tekrar edilebilir ve sürdürülebilir güvenlik isteklerini karşılayabilecek bir bilişim sistemi altyapısı için tercih edilebilir olmaktadır.

3. Materyal ve Metod (Material and Method)

Bu bölümde çalışmamızdaki alt yapıyı oluştururken kullanılan metodlar, şifreleme, derin öğrenme modelleri ve güvenli iletişim kanalının oluşturulmasındaki protokolün detaylarına yer verilmektedir.

3.1. Lehmer algoritması ile rastgele sayı üretimi (Random number generation with lehmer algorithm)

Literatürde şifreleme alanında birçok çalışma vardır. Özellikle, "Sözde Rastgele Sayı Üreteçleri" (Pseudo Random Number Generator, PRNG) [16] rastgele sayı dizilerine yaklaşan sayı dizileri üreten üreteçlerdir. Gerçek rastgele sayı üretimi için ise dış bir kaynaktan veri almak gereklidir çünkü dış kaynaklar determinist değildir ve bilgi teorisinden bilinen olasılıksal karışıklık ölçütü olarak entropi daha fazladır. Sıcaklık, fare ve klavye hareketleri, saat bu üreteçler için kaynak (tohum) olabilir. Sözde Rastgele Sayı Üreteçleri gerçek hayattaki rastgeleliğe ve entropi değerlerine ürettiği sayı dizilerinde yaklaşmayı hedefler. Bir başlangıç değeri yani tohum (seed) seçilerek daha sonra bu tohuma tekrarlı olarak uygulanan algoritma ile yeni rastgele sayılar üretilebilir.

Lehmer Algoritması [17], diğer donanımsal ve yazılımsal yaklaşımlara nazaran oldukça az hesapsal karmaşıklık ile yazılımsal sonuç üreten Sözde Rastgele Sayı Üreteçleri'nden bir tanesidir. Bu algoritmada kullanılan formül özyinelemeli olarak devam etmekte böylece istenen sayıda rastgele sayı üretilmeye devam etmektedir. Algoritmanın sonucu olarak gerçek rastgele sayıların rastgeleliğine en yakın hale getirmeye çalıştığımız rastgele sayı dizisi üretilmektedir. Bu dizi daha sonra görüntünün şifrelenmesi için gerekli anahtar üretiminde kullanılmaktadır. Şifrelenmemiş haldeki ham görüntünün matris biçimindeki bilgisinin bit bazında bu anahtara uygun olarak yüksek karıştırma oranıyla şifrelenmesi çalışmamızda hedeflenmiştir. Lehmer algoritması, Doğrusal Eşleşmeli Üreteçler (Linear Congruential Generator, LCG) [18] kategorisinde yer alır. Doğrusal Eşleşmeli Üreteçler'de üretilen rastgele sayısal değer ile sonraki konuma aynı algoritma kullanılarak yeni sayısal değer üretilmesi sağlanır. Bahsedilen üreteçlerde kullanılan genel formül aşağıda Denklem (1)'de gösterildiği gibidir.

$$x_k + 1 = (ax_k + c) \times \text{mod}(m) \quad (1)$$

Lehmer algoritmasında Denklem (1)'deki ifadeye göre ise c sabiti sıfır değeri alınır. Bu nedenle Lehmer algoritmasının genel formülü aşağıda Denklem (2)'de gösterildiği gibidir.

$$x_k + 1 = (ax_k) \times \text{mod}(m) \quad (2)$$

Denklem (2)'ye göre m terimine verilecek sayı asal veya asal bir sayının üssü olmalıdır. Buradaki a terimi ise sabit bir çarpandır ve yine asal sayı olarak seçilir. Lehmer algoritmasına göre x_0 terimi genel formüldeki x_k terimine dayanarak tanımlaması yapılan ve $0 < x_0 < m$ aralığında olması gereken bir başlangıç değeridir. Bu terim değerleri incelenirken, m terimine göre modu alındığında kalansız bölünmemesi için m ile x_0 aralarında asal olmasına dikkat edilir. Buradaki, x_0 terimi tohum (seed) olarak kullanılır. Bahsedilen Lehmer algoritmasındaki değişkenler çalışmamızda sırasıyla; m için 215, c için sıfır değeri olurken, 2 ilâ 19997 aralığından seçilerek formüle uygun olarak a ve x_0 terimleri için asal sayılar kullanılmıştır. Çalışmamızda kullanılan her bir görüntü üç kanal renkli olarak $256 \times 256 \times 3$ boyutlarındadır. Buna göre deneylerimizdeki veri kümelerinden alınan her bir görüntü toplam 196608 pikselden oluşacak şekilde bu çözünürlüğe ayarlanmıştır. Her piksel ise 0 ilâ 255 sayıları arasında

değerler almakta olup, bir piksel değeri 8 bit olarak belirlenmiştir. Her bir piksel için Lehmer Algoritması ile Sözde Rastgele Sayı oluşturulmuştur. Bunun ardından bu sözde rastgele sayıların normalizasyon işlemi yapılır. Böylece tüm değerler 0 ilâ 255 aralığına normalize edilmiş olmaktadır. Sözde rastgele sayı kullanılarak oluşturulan değerlerle orijinal görüntüden alınan 196608 adet pikselin mevcut renk değerleri üzerinden bit bazında (bitwise) mantıksal Özel VEYA (eXclusive OR, XOR) işlemi yapılmaktadır. Bu sayede XOR işleminin ardından şifrelenmiş görüntü, orijinal görüntünün mevcut bilgisi karıştırılmış hale getirilerek elde edilmiş olmaktadır.

3.2. Derin öğrenme ile nesne tespiti (Object detection with deep learning)

Derin öğrenme altyapısının oluşturulmasında temel olarak evrişimli sinir ağı modelleri, metin ve görüntü kodlayıcı (encoder) temelli derin sinir ağı modelleri kullanılmıştır. Bununla ilgili detaylara aşağıda yer verilmektedir.

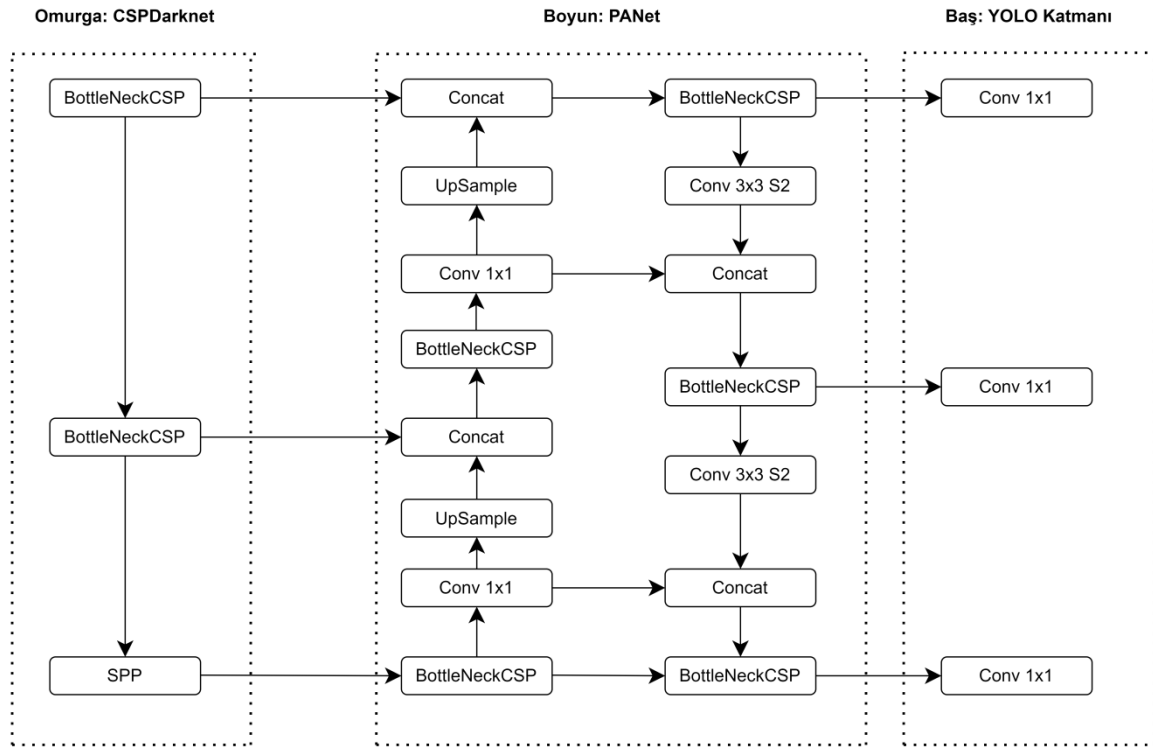
3.2.1. Sadece bir kez bak modeli (You only look once model)

Sadece Bir Kez Bak (You Only Look Once, YOLO) derin sinir ağı modeli gerçek zamanlı nesne tespitinde kullanılan bir derin öğrenme modelidir [9, 12, 15, 19]. Nesne tespiti işlemi, belirli nesnelerin bulunduğu görüntüdeki konumunu belirlemenin yanı sıra bu nesnelere sınıflandırmayı da içerir. Daha önceki çalışmalarda (Artıklı Evrişimli Sinir Ağı, Residual Convolutional Neural Network, R-CNN ve varyasyonları), bu işlem birden fazla adımda bir işlem hattı üzerinden yapılmaktadır, fakat her bir bileşenin birbirinden ayrı eğitilmesi gerekliliği, çalıştırılma süresinin uzunluğu ve eniyilenmesindeki bazı zorluklar gibi kısıtlayıcı unsurlar ortaya çıkmaktadır. YOLO modelinde bu işlemler tek bir sinir ağında gerçekleştirilmektedir.

Çalışmamızda YOLO modelinin bir versiyonu olan YOLOv5 kullanılmıştır. Çalışmamızda YOLOv5 modelinin ana katkısı gözetilerek sahne içerisindeki nesnelerin tespitinde kullanılmıştır. Bunun sebebi model boyutunun esnek kontrolü, özel bir aktivasyon işlevinin uygulanması ve veri iyileştirmesi yapabilesidir [9]. Bu modelin bu versiyonu üç temel bileşenden oluşmaktadır. Bunlar; Baş (head), boyun (neck) ve omurga (backbone) olarak bilinir. YOLOv5 modelinde baş bileşeni YOLO katmanına, boyun bileşeni Yol Kümeleme Ağı'na (Path Aggregation Network, PANet), omurga bileşeni Çapraz Aşamalar Arası Kısmi Bağlantılar'a (Cross-Stage-Partial-Connections, CSPDarknet) denk gelmektedir. Omurga bileşeni içerisinde Uzamsal Piramit Biriktirme (Spatial Pyramid Pooling, SPP) alt bileşeni bulunmaktadır. Böylece bu bileşen verilen görüntünün temel özniteliklerini tespit ederek ve bunları işlenmesi adına evrişimli katmanlardan oluşan ağın bir parçasıdır. DarboğazCSP (BottleneckCSP) alt bileşeni çeşitli evrişim katmanlarından oluşarak model derinliğini artırarak öznitelik kalitesini daha da geliştirmektedir.

Omurga bileşeni ilk önce ImageNet [20-22] gibi bir sınıflandırma veri kümesi ile eğitilir ve algılama, sınıflandırmadan daha ince ayrıntılar gerektirdiğinden, genellikle son algılama modelinden daha düşük olan bir çözünürlükte eğitilmektedir. Boyun bileşeni içerisinde gerekli aşamalarda Birleştirme Fonksiyonu (Concatenate Function) kullanılmaktadır. Bu boyun bileşeni, olasılıklar ve sınırlayıcı kutu (bounding box) koordinatlarıyla ilgili tahminler yapmak adına tamamen bağlantılı katmanlara sahip omurgadaki evrişim katmanlarından gelen öznitelikleri kullanır.

Baş bileşeni, transfer öğrenimi için giriş katmanı ile aynı şekil (shape) değerlerine sahiptir, diğer katmanlarla değiştirilebilen ağın son çıkış katmanıdır. Baş için temel formül olarak $S \times S \times (K + (B * 5))$ formülüne sahip olan bir tensör verilmektedir. Orijinal YOLO makalesinde [9, 15, 19] belirtildiği gibi, bu tensörün boyutları $7 \times 7 \times 30$ şeklinde bir matristir. Bölünmüşlük boyutu S terimi ile ifade edilmekte ve 7 olarak alınmaktadır. Sınıfı ifade eden K terimi ise 20 değerini almakta ve öngörülen sınırlayıcı kutu terimi ise B olarak temsil edilmekte ve 2 değerini almaktadır. Anlaşılacağı üzere modelin temel üç bileşeni, önce görüntüden temel görsel öznitelikleri elde etme, ardından sınıflandırma işlemi yapma ve sahne içerisindeki ilişkileri ortaya koyma adına birlikte çalışmaktadır. Aşağıdaki Şekil 1 'de YOLOv5 modeline ait derin sinir ağı mimarisini şematik olarak verilmektedir.



Şekil 1. YOLOv5 modeline ait derin sinir ağı mimarisinin blok diyagramı [19] (Block diagram of the YOLOv5 model's deep neural network architecture)

3.2.2. Zıt dil görüntü ön eğitimi modeli (Contrastive language-image pre-training model)

Zıt Dil Görüntü Ön Eğitimi (Contrastive language-image pre-training, CLIP) derin sinir ağı modeli [23, 24, 25], doğal dil denetimi ile ilgili görüntüleri eşleştiren ve öğrenen bir yapay sinir ağıdır. Metin ve görüntü eşleşmesini tahmin etmek için bir görüntü kodlayıcı ve metin kodlayıcı önceden eğitilir. Bu eğitim sıfır örneklili (zero-shot) bir sınıflandırıcı oluşturmak için kullanılır. Sıfır örneklili özelliği sayesinde önceden eğitilmiş 400 milyon görüntü ve metin çifti veri kümesinin eğitimi ile herhangi özelleştirilmiş bir model eğitimi yapmadan tahmin üretebilmeyi sağlar. Deneylerimizde, mevcut sahne için öğrenme sonucunda elde edilen temel yorumlamaya dayalı etiketleme yapmak için CLIP modeli kullanılarak yüksek doğrulukta nesne sınıfları tahminlenmiş, böylece bu bilgi bir üst veri olarak son kullanıcıya aktarılmıştır.

4. Önerilen Sistem (Proposed System)

Bu bölümde şifreleme ve veri iletimi altyapısını oluşturan sistemin hangi aşamaları olduğu ve bu aşamaların teknik detaylarının, uygulama esaslarının neler olduğu açıklanmaktadır.

4.1. Veri haberleşmesi (Data communication)

Literatürde veri iletimi ile ilgili birçok protokol bulunmaktadır. Mesaj Kuyruklama Telemetri İletimi (Message Queueing Telemetry Transport, MQTT) protokolü [2, 3] makinalar arası olan (M2M) mesaj tabanlı bir iletişim protokolü olup daha çok akıllı ev (smart home) sistemleri gibi sistemlerde kullanılan cihazların birbirleriyle güvenli ve hızlı bir şekilde iletişim kurulmasını sağlamaktadır. Bu iletişim yönteminde en önemli aktör MQTT Aracılar'dır (Broker). Aracılar'ın asıl görevleri ise Aboneler'e mesajlar göndermektir. Yayıncı'dan (Server) mesajlar alınır ve Aracılar'a verilir. Aracılar ise gelen mesajı hangi İstemci'ye (Client) göndermesi gerektiğini mesaj içeriğinde bulunan Konu'ya (Topic) bakar. Aboneler'in ise abone oldukları Konu veya Konular vardır. Aracılar gelen mesajın Konu'suna bakarak, o konuya abone olmuş İstemciler'e mesajı yollamaktadır. Çalışmamızda, MQTT protokolü ile görüntülerin uçtan uca ve akranlar arası (end-to-end and peer level) iletiminin daha da güvenli hale getirebilmek adına, "Lehmer Rastgele Sayı Üretim Algoritması" ile üretilen anahtarlar sayesinde görüntüler şifrelenip ilgili istemcilere belirli bir JSON paketi formatında gönderilmiştir.

4.2. Video iletimi (Video transmission)

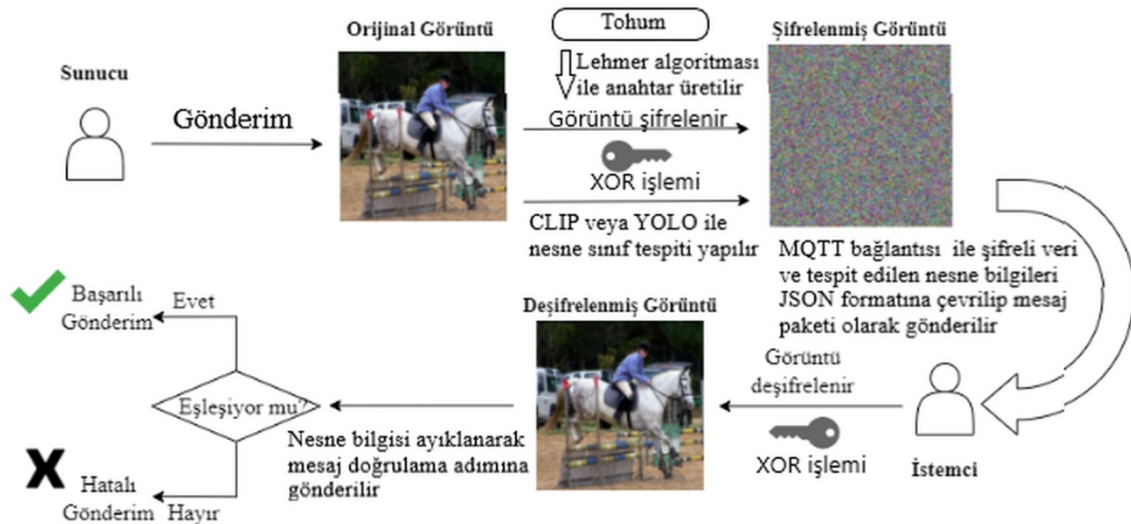
Çalışmamızda birçok çerçeveden oluşan videoyu tek seferde iletilmesinin iletim maliyetini ve işlem karmaşıklığını artıracak olmasından dolayı videodan anahtar çerçeve elde edip daha sonrasında bu görüntüleri birleştirerek bir taşıyıcı ana çerçeve (container frame) elde edilmesi tercih edilmiş, böylece bunun iletim işleminin yapılması sağlanmıştır. Anahtar çerçevelerin bir video parçasından edinimi işlemi Python kütüphanesi olan Katna [26] modülü ile gerçekleştirilmiştir.

Katna modülü videoyu, $CIE\ 1976\ L^*, u^*, v^*$ renk uzayında mutlak farklılıkları, elde edilen video çerçevelerinin parlaklık puanı, elde edilen çerçevelerin entropi, kontrast puanı, görüntü histogramları bilgilerini kullanarak işleme tabi tutmaktadır. Buna göre, video çerçevelerinin k -ortalama kümelemesi; Laplace işleci (görüntü bulanıklığı ile ilgili işlemler için) ve değişkenliğine göre kümeler arasından en iyi çerçevenin seçilmesi gibi kriterlere ve işlemlere tabi tutarak videodaki anahtar çerçevelerin elde edilmesini sağlamaktadır.

Çalışmamızdaki deneylerde kullanılan videolar üzerinde Katna kullanılarak her bir video için belirleyici unsurlar içeren 16 anahtar çerçeve elde edilir, bu çerçeveler Python Görüntüleme Kütüphanesi (Python Imaging Library, PIL) modülü [27] kullanımı yoluyla 4×4 'lük bir matris formunda görselleştirilen çözünürlüğü 1280×960 olan tek bir görüntünün oluşturulmasıyla iletim işlemine hazır hale getirilmektedir. Bu taşıyıcı ana çerçeve diğer tek çerçeve (durağan görüntüler) için olan işlemlerde de olduğu gibi Lehmer algoritması tabanlı şifrelemeyle ve MQTT bazlı güvenli iletişimde kullanılmaktadır. Çalışmamızda deneyler bu taşıyıcı ana çerçeveler ile gerçekleştirilmiştir.

4.2. Sistem mimarisi (System architecture)

Çalışmamızda videolardan elde edilmiş çeşitli anahtar çerçevelerden oluşan bazı çoklu görüntü içeren taşıyıcı ana çerçeve görüntüler ve farklı görüntü veri kümelerinden elde edilen tek çerçeve görüntüler kullanılarak nesne tespiti yapılmıştır. Tek çerçeve görüntüler için CLIP derin öğrenme modeli, videolardan elde edilen taşıyıcı ana çerçeve görüntüler için ise YOLO derin öğrenme modeli kullanılmıştır. Çalışmamızda geliştirilen sistem üç ana kısımdan oluşmaktadır. Bu kısımlar sırasıyla şifreleme-deşifreleme, veri iletimi ve nesne tespittir. Buna dair tümleşik sistemin blok diyagramı Şekil 2 ile verilmektedir.



Şekil 2. Önerilen sistemin mimarisinin blok diyagramı (Block diagram of the proposed system's architecture)

Şekil 2'den görülebileceği gibi deneylerdeki görüntüler 3 kanal renkli girdi görüntüsü şeklinde verildikten sonra görüntü matris halinde renk uzayındaki her bir kanal kullanılarak oluşturulan matris bir boyutlu vektöre dönüştürülerek ilgili bilgiyi oluşturan ikili (binary) dizi permütasyon yoluyla karıştırılarak kullanılır. Bu karıştırılmış görüntünün üzerine tohum (seed) yoluyla beslenen Lehmer algoritması ile oluşturulan hesapsal duyarlılığı 64 bit kayar nokta (floating point) *double duyarlık* tipinde (veri temsili için kullanılan Python programlama diliyle IEEE-754 standardına uygun biçimde en önemli 53 bit temsiline indirgenerek kullanılmıştır) [17] bir sözde rastgele sayı tabanlı anahtar

kullanılarak görüntüdeki üç ayrı renk kanalının her birinin üzerine kanal bazında bit seviyesinde mantıksal Özel VEYA (eXclusive OR, XOR) işlemi yapılmaktadır [28]. Bahsi geçen IEEE-754 standardına uygun tip indirgemesine bağımlı olarak üretilen anahtarın değer uzayı (key space) oluşmaktadır. Bu yolla, orijinal görüntünün şifrelenmiş hali bu anahtarla oluşturulmakta, şifrelenmiş görüntü verisi iletim paketi içerisine eklenmek üzere Base64 kodlama şematığına uygun olarak metin bazlı hale getirilmekte, eğer varsa görüntüdeki nesnelere tespiti ile ilgili bilgiler ve şifre anahtarı, görüntü formatı ve dosya ismi, derin öğrenme modeliyle yorumlanan sahne ile ilgili sınıf etiketi gibi üst veri (metadata) halindeki bilgiler metin bazlı bir araya getirilerek JSON [29] paketi biçiminde sunucudan istekte bulunan istemcilere dağıtılmaktadır. Çalışmamızdaki deneylerimizde YOLO modeli kullanılarak sahnedeki nesnelere sınıf etiketleri tespit edilmiş ve bu bir üst veri olarak JSON dosyası içerisinde kaydedilmiştir. Diğer bir doğrulama yöntemi olarak mevcut sahne için öğrenme sonucunda elde edilen temel yorumlamaya dayalı etiketleme yapmak için CLIP modeli kullanılarak yüksek doğrulukta nesne sınıfları tahminlenmiş, böylece bu bilgi bir üst veri olarak son kullanıcıya aktarılmıştır. JSON paketini alan istemci yine aynı anahtar ve bilgilere dayanarak görüntüyü deşifre etmekte ve deşifre görüntüdeki üst veri sonucunu son kullanıcıya doğrulama eşleşmesiyle göstermektedir.

Bu sistem literatürdeki diğer çalışmalardan farklı olarak mesaj iletiminde üst veri ile gönderilen doğrulama bilgisini kullanarak şifrelenmiş görüntünün doğru bir şekilde deşifre edildiğini garanti etmektedir. Sistem üç farklı veri kümesi üzerinden deneylerde gerçek zamanlı olarak iletişim modeli sayesinde denenmiştir. Kang ve Choi [15] çalışmasında kaotik bazlı ve yüksek güvenilirli bir sistem ile şifreleme yapılmasına rağmen bu çalışmamızda kullanılan Lehmer algoritmasının hesapsal karmaşıklığına göre Kang ve Choi çalışmasındaki karmaşıklık daha yüksek olmaktadır. Şifrelemeyi sadece ROI kullanarak yapan Kang ve Choi'nin çalışmasının aksine çalışmamızda tam ölçekli görüntülerle şifreleme ve deşifreleme yapılarak, sonucu doğrulama tümleşik olarak başarıyla gerçekleştirilmektedir. Yapılan çalışmada deneylerde elde edilen sonuçlar makalenin sonraki bölümlerinde detaylı olarak verilmektedir. Yapılan deneylerde Sunucu'dan İstemci'ye (Server to Client) her bir görüntünün şifrelenip mesaj paketine dönüştürülüp yollanması ve İstemci'nin aldığı mesaj paketindeki görüntüyü deşifreleyip doğrulaması ortalama olarak 50 Mbps hat üzerinden 24 milisaniye gecikme şartıyla toplamda uçtan uca 25 saniye sürmektedir.

5. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

Bu bölümde deneylerimizde kullanılan veri kümelerinin detaylarına, başarımlar ölçütlerine ve değerlendirme sonuçlarına yer verilmektedir.

5.1. Veri kümeleri (Datasets)

Çalışmamızda kullanıcı deneyimi de göz önüne alınarak veri kümelerinde sınıf çeşitliliğinin artırılması ve böylece genel bir kullanım imkânı sağlanması hedeflenmiştir. Çalışmamızda üç adet veri kümesi kullanılmıştır. Bunlardan ilki, Massachusetts Amherst Üniversitesi tarafından hazırlanmış ve halka açık kullanımla dağıtılan *Labeled Faces in the Wild* (LFW) veri kümesidir [30, 31]. İlgili veri kümesi, 5749 farklı insandan alınan görüntülerle oluşturulan toplamda 13233 insan yüzü görüntüsü içermektedir.

İkinci veri kümesi, *Oxford PASCAL VOC 2012* [32-34] veri kümesidir. Halka açık kullanımla dağıtılmaktadır. Veri kümesinde arka plan (background) haricinde 20 farklı sınıf bulunmaktadır. Bu sınıflara ait etiketler şunlardır: insan, kedi, inek, koyun, köpek, at, kuş, uçak, bisiklet, tekne, otobüs, araba, motor, tren, şişe, yemek masası, saksı bitkisi, kanepe, sandalye, tv/monitör. Bu veri kümesinde, 11530 görüntü içerisinde 27450 adet işaretlenmiş nesne ve 6929 bölütleme verisi bulunmaktadır.

Üçüncü veri kümesi, *Unsegmented Sports News Videos* (CP Sports Minute, CPSM) [35, 36] veri kümesidir. Halka açık kullanımla dağıtılmaktadır. Veri kümesinde 10 farklı spor alanlarından oluşan sınıflar bulunmaktadır ve bu sınıflar şunlardır: yüzme, Amerikan futbolu, futbol, tenis, voleybol, beyzbol, golf, trekking, güreş. Veri kümesindeki videolar 60 ilâ 320 saniye uzunluğunda olabilen 240×320 çözünürlüğündeki 74 adet video parçasından oluşmakta ve bunlar üç ayrı spor branşını içermektedirler.

5.2. Başarımlar ölçütleri (Performance metrics)

Çalışmamızdaki veri kümelerinden alınan görüntüler ile yapılan veri şifreleme, deşifreleme ve iletimlerinde aşağıda bahsedilen ölçüm yöntemleri kullanılmış ve sonrasında sonuçları verilmiştir.

Yapısal Benzerlik Endeksi Ölçümü (Structural Similarity Index Measure, SSIM) [37], görüntülerin algılanan kalitesini sayısal olarak ölçebilmek için veya iki görüntü arasındaki benzerliği anlayabilmek için kullanılan bir birimdir. Bu ölçümde kontrast, parlaklık ve görüntü yapısı SSIM kontrast, parlaklık ve görüntü yapısını değerlendirerek bir sonuç çıkarır. SSIM, sıfır ile bir arasında değer alır. Değer birle yaklaştıkça görüntünün kalitesinin arttığı veya bir görüntü ile karşılaştırılırsa 1 değerinde görüntüyle aynı olduğu anlamına gelir. Tepe Sinyal Gürültü Oranı (Peak Signal Noise Ratio, PSNR) [38], görüntü kalitesini ölçmek için bilimsel araştırmalarda sık kullanılan bir ölçü birimidir. PSNR ölçütü göz önüne alındığında, örneğin, 8 bitlik görüntü derinliği olması halinde gürültü değerleri 30 ile 50 desibel (dB) arasında bir değer olmakta, 12 bitlik görüntülerde ise 60 dB veya daha yüksek değerlerde olabilmektedir. PSNR değeri yükseldikçe görüntünün kalitesinin arttığı ve parazitlerin azaldığı anlamına gelmektedir.

Denklem (3), Denklem (4) ve Denklem (5) sırasıyla Ortalama Kare Hatası (Mean Squared Error, MSE) değeri, PSNR ve SSIM değerlerinin hesaplanmasında kullanılan matematiksel formülleri vermektedir. Ortalama Kare Hatası tahmini ve gerçek değerler arasındaki farkı karesi alınmış hatanın ortalamasını olarak ölçer. Denklem (3)'te gürültüsüz bir $m \times n$ büyüklüğündeki I görüntüsü için K terimi gürültü yaklaşıklamasını ifade etmektedir. Denklem (4) ise MSE değeri tabanlı olarak PSNR değerini bulmak için hesaplanmaktadır. Buradaki MAX_I^2 terimi görüntüdeki olası maksimum piksel değerlerini ifade eder ve örnek başına 8 bit kullanıldığında bu değer 255 olur. Denklem (5)'te görüntüdeki genel büyüklüğü $N \times N$ olan denk boyuttaki iki pencere olarak verilen x ve y terimleri için benzerlik ölçüsüdür. Buradaki, μ_x terimi x görüntüsüne ait piksellerin, μ_y terimi y görüntüsüne ait piksel örneklem ortalamasıdır. σ_x^2 terimi x için varyansı, σ_y^2 terimi y için varyansı ifade eder. Ayrıca, σ_{xy} terimi ise x ve y için kovaryansın hesaplamasıdır. SSIM formülündeki C_1 terimi incelendiğinde, $C_1=(k_1L)^2$ ve $C_2=(k_2L)^2$ zayıf payda ile bölünmeyi dengelemek için kullanılan iki değişkendir. Buna göre; L piksel değerlerinin dinamik aralığıdır. Buradaki k_1 terimi 0,01 değerini alırken, k_2 değeri ise 0,03 değerini almaktadır.

$$MSE = \frac{1}{mn} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} (I[i, j] - K[i, j])^2 \quad (3)$$

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{MAX_I^2}{MSE} \right) \quad (4)$$

$$SSIM(x, y) = \frac{(2\mu_x\mu_y + C_1)(2\sigma_{xy} + C_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2)} \quad (5)$$

Şifreleme ve deşifreleme kalitesine yönelik literatürdeki çalışmalarda kullanılan; Piksel Sayısı Değişim Hızı (Number of Pixels Change Rate, NPCR) [39, 40] ve Birleşik Ortalama Değişme Yoğunluğu (Unified Average Changing Intensity, UACI) [39, 40] şifreyi kırmaya yönelik diferansiyel ve lineer saldırıya dayanıklılık başarılarını ve görüntü şifreleme yönteminin başarısını ölçmek için en sık kullanılan ölçütlerdir. İki görüntü arasındaki ilişkiyi belirleyen NPCR değeri göz önüne alındığında şifreleme öncesi ve şifreleme sonrası mevcut piksellerin değerleri birbirine eşitse 0, eşit değilse 1 değeri elde edilmektedir. Buna göre iki görüntü arasındaki fark ne kadar fazla ise NPCR değeri 1 değerine o kadar çok yaklaşmaktadır.

Düz metin (plain text) halindeki şifresiz orijinal görüntüdeki her bir pikselin uygulanan şifreleme işlemi sonrasındaki maruz kaldığı değişikliğe göre şifrelemenin kalitesini ölçebilmek için ölçütlerle değerlendirme yapılır. Buna göre şifresiz görüntüdeki bir piksellik değişikliği gösterecek şekilde şifreleme öncesi ve şifreleme sonrasında görüntülerin sırasıyla C^1 ve C^2 olduğu kabulüne göre, C^1 ve C^2 görüntülerindeki (i, j) piksel değerlerinin $C^1(i, j)$ ve $C^2(i, j)$ terimleri olarak alındığı formülde, $D(i, j)$ çift kutuplu dizisi üzerinden değişimin var olup olmadığına dair ölçümün tanımlandığını varsayalım. NPCR ve UACI ölçütlerinin değerleri bu bakış açısıyla hesaplanır. Buna dair matematiksel formüller aşağıdaki Denklem (6), Denklem (7) ve Denklem (8) ile verilmektedir. Bu formüllerdeki T terimi şifrelenmiş görüntüdeki toplam piksel sayısını, F terimi ise şifrelenmiş görüntü formatıyla uyumlu olan en büyük desteklenen piksel değerini ifade eder. Denklem (8)'de görüntüler arasındaki fark mutlak değer olarak elde edilmektedir. Denklem (7) ve Denklem (8) ise yüzdelik oran olarak verilmiştir. NPCR ölçütü, şifre kırmaya yönelik diferansiyel saldırılarda, şifreleme işlemi sırasında değeri değişmiş olan mutlak piksel sayısına odaklanmaktayken, UACI ölçütü ise birbirleriyle eşleştirilmiş sırasıyla C^1 ve C^2 olarak verilen iki görüntünün arasındaki ortalama farka odaklanmaktadır. NPCR ölçütünün alabildiği değerler [0,1] aralığında olmaktadır.

$$D(i, j) = \begin{cases} 0, & \text{if } C^1(i, j) = C^2(i, j) \\ 1, & \text{if } C^1(i, j) \neq C^2(i, j) \end{cases} \quad (6)$$

$$NPCR: \mathcal{N}(C^1, C^2) = \sum_{i,j} \frac{D(i,j)}{T} \times 100(\%) \quad (7)$$

$$UACI: \mathcal{U}(C^1, C^2) = \sum_{i,j} \frac{|C^1(i,j) - C^2(i,j)|}{F \cdot T} \times 100(\%) \quad (8)$$

Bilgi teorisinde Shannon tarafından tanımlanan entropi [41] ölçütü, bilgi belirsizliği ölçümü olarak kullanılır. Bilgi entropisi, belirli bir veriyi temsil etmek için gereken minimum ortalama bit'i ifade eder. Entropi, belirli bir görüntünün piksel değerlerinin olasılıksal dağılımından elde edilebilir. Çalışmamızdaki entropi değerleri verilen bir görüntüdeki piksellerin X dağılım fonksiyonuna uygun olmak üzere her bir pikselle ilişkili ortalama belirsizlik ölçütü Shannon entropisi olarak $H(X)$ terimiyle aşağıdaki Denklem (9)'a uygun olarak hesaplanmıştır. Elde edilen entropi değerleri görselleştirilerek ısı haritaları biçiminde bir sonraki bölümdeki şekillerde gösterilmektedir.

$$H(X) = - \sum_{i=0}^{2^n-1} p(x_i) \log_2 p(x_i) \quad (9)$$

Buradaki $p(x_i)$ terimi, i indisi olasılık kitle fonksiyon değeri için renk seviyelerinin sayısını göstermekte iken bu seviyelerle ilişkilendirilmiş olasılık değerini ifade etmektedir. Genel olarak 256×256 gri seviyesinde 8 bit formatında bir görüntüde ($n=8$), formüldeki $H(X)$ ile gösterilen entropinin maksimum değeri 8 olmaktadır. Bu maksimum entropi, piksellerden elde edilen önsel bilginin belirsiz olduğu, diğer bir deyişle bilginin "yeterince karıştırılmış" olduğu anlamına gelmektedir. Böylece, şifrelenen veri için entropi değeri 8'e ne kadar yakın olursa, şifreleme işlemi o kadar iyi bir karıştırmaya sahip olmuş anlamına gelmektedir. Bu yolla, şifreleme sonrası orijinal veri hakkında doğrudan tahminleme yapılamayacak hale getirmek hedeflenmektedir. Bu nedenle, deşifreleme işleminde olduğu gibi görüntünün tekrar oluşturularak (reconstruction) orijinal görüntünün elde edilmesinde bu değer minimize edilmesi ve böylece karmaşıklığın azaltılmasıyla orijinal bilgiye geri dönebilmek amaçlanmaktadır.

Bilgi elde etme kuramı (information theory) kapsamında sahne içerisindeki nesnelere tespitine dair nesnel başarımlar ölçütleri [19, 32] incelendiğinde; bunlar arasında Doğruluk (Accuracy), Duyarlılık (Precision), Anma (Recall), ölçütlerinin en temel ölçüm sonuçları olarak verildiği görülmektedir. Bu ölçütlerin detaylarına literatürdeki çalışmalarda yer verilmektedir [20, 32]. Ayrıca, Kesişim Birleşimi (Intersection over Union, IoU) ölçütü YOLO ve benzeri diğer modellerdeki tahminlenen nesnenin görüntüde kapladığı alanın tespitine dayanan bir ölçü değeri olarak, sınıf tahminlemesini yapan sinir ağı modeli tabanlı sınıflandırıcılarda kullanılan bir başarımlar ölçütüdür. Bu ölçüt, referans olarak alınan (ground-truth) gerçek sınırlayıcı kutu (bounding box) ile tahminleme yoluyla elde edilmiş sınırlayıcı kutunun kesişiminin görüntü üzerinde ne kadarlık bir alanı kapsadığını göstererek, bu kesişim alanı ile toplam birleşim alanının oranı olarak ifade etmektedir [32]. Genel Ortalama Duyarlılık (mean Average Precision, mAP) ölçütü, nesne tespitindeki tahminlenen ilgili tüm sınıflar üzerinden alınan bu sınıflara ait Duyarlılık değerleri ortalamalarının genel bir ortalaması şeklinde verilmektedir. Bu bahsi geçen ölçütlere temel olarak bilgi elde etmek kuramına ait bir sınıflandırma işlemindeki doğru pozitif (true positive, DP), doğru negatif (true negative, DN), yanlış pozitif (false positive, YP) ve yanlış negatif (false negative, YN) ölçüleri çalışmalarda nesne tespitinde sınıflandırma doğruluk oranının ve nesne tanıma oranı hesaplanması için kullanılmaktadır. Duyarlılık ölçütü, tahmin edilen pozitif örneklerin kaçının gerçek pozitif örnekler olduğunu ifade etmektedir. Buna göre; sınıflandırma sonucunda DP değerinin tahminlemede elde edilen DP ile YP değerlerinin toplamına olan oranı olarak ifade edilir. Çalışmamızda YOLO modelinin deneylerdeki veri kümeleri için elde ettiği nesne tespiti tahminleme sonuçları mAP ölçütüyle ve IoU eşik değeri hem 0,5 hem de 0,5-0,95 aralığında alınarak hesaplanmış, böylece veri kümeleri üzerinden nesnel başarımlar değerlendirmesi yoluyla kıyaslanmıştır. IoU eşik değerinin buradaki anlamı, referans alınan sınırlayıcı kutu ile tahminleme yoluyla elde edilen sınırlayıcı kutunun kesişim oranının 0,5 değerinden büyük olup olmadığına bakılarak eğer büyükse tahminlemenin doğru olarak kabul edilmesine dayanmaktadır.

5.2. Değerlendirme sonuçları (Evaluation results)

Çalışmamızda seçilen veri kümelerindeki görüntü verilerinin 256×256 çözünürlüğünde girdi ve çıktıları değerlendirilerek, şifrelemenin kalite yönünden başarısı, başarımlar ölçütlerine göre karşılaştırılarak Tablo 1’de ortalama değerler ve standart sapma değerleri olarak verilmiştir. Bu testler için Intel(R) Core(TM) i7-11370H model 3.30 GHz 64 bit işlemcili, 16 GB RAM bellekli, nVidia Geforce RTX 3050 Ti 4 GB bellekli ekran kartlı ve Microsoft Windows 10 sürümü 64 bit işletim sistemine sahip bilgisayar üzerinde uygulamada Python v3.8 programlama dili kullanılmıştır. Derin öğrenme modelleri için Tensorflow v2.10.0 altyapısı [34] kullanılmıştır. Deneyler ölçüm sonuçlarını doğrulamak için üç kez tekrarlanmıştır. Tablo 1’de görülebileceği gibi çalışmamızdaki NPCR ölçütü ortalama değerlerinin tüm veri kümeleri için yaklaşık %99,61 olarak elde edilmiş olması ve tüm veri kümeleri için UACI ölçütü ortalamasının %14,70 değeriyle elde edilmiş olması, şifreleme işlemi sonrasında şifreli görüntü ile orijinal görüntü karşılaştırıldığında birbirlerine neredeyse hiç benzemedikleri anlamına gelmektedir. Tablo 1’de PSNR, SSIM, NPCR ve UACI değerlerinin üç veri kümesi üzerinden ortalama değerleri ve standart sapmaları görülmektedir.

Tablo 1. Deneylerdeki görüntü kalite ve rastgelelik tabanlı şifreleme başarımları sonuçları (Image quality and randomness based encryption performance results in the experiments)

Veri kümesi	Betitleyici istatistik	PSNR	SSIM	NPCR(%)	UACI(%)
LFW	Ortalama	∞	1	99,60	19,50
	Standart sapma	0	0	0,0114	0,40
CPSM	Ortalama	∞	1	99,61	5,10
	Standart sapma	0	0	0,0457	0,05
PASCAL VOC 2012	Ortalama	∞	1	99,61	19,50
	Standart sapma	0	0	0,0069	0,57

Tablo 2’de Entropi değerlerinin üç veri kümesi üzerinden ortalama değerleri ve standart sapmaları görülmektedir. Tablo 2’deki entropi analizi ile elde edilmiş sonuçlara göre şifrelenmiş görüntüler bazında LFW ve PASCAL VOC 2012 veri kümelerinde dikkate alınan görüntü içerisindeki nesnelere görüntünün büyük bir bölümünü homojen olarak kaplamaktadırlar. Bu nedenle ortalama entropi değerleri yaklaşık olarak birbirine yakın çıkmıştır. Aynı tabloda ortalama standart sapma değerleri ise oldukça küçük çıkarak görüntüde dikkate alınan nesnelere renk dağılımlarına dair homojenitenin yüksek olduğunu göstermektedir. Tablo 2’deki şifrelenmiş görüntüler için en yüksek ortalama entropi değeri CPSM veri kümesi için 7,9999 olarak elde edilmiştir. Bu bakış açısıyla bu veri kümesi için çalışmamızda önerilen şifreleme altyapısı sayesinde orijinal görüntüdeki piksel değerlerinin yeterince yüksek oranda karıştırılabildiği anlaşılmaktadır.

Tablo 2. Deneylerdeki şifrelenmiş ve deşifrelenmiş görüntüler için entropi analiz sonuçları (Entropy analysis results for encrypted and decrypted images in the experiments)

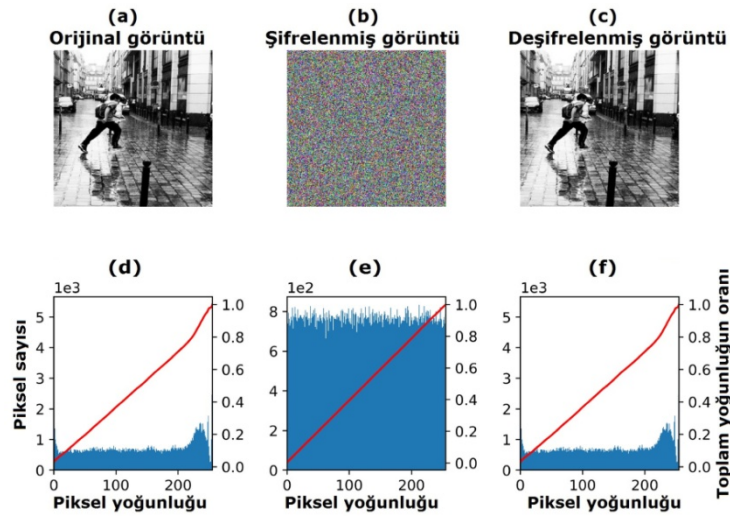
Veri kümesi	Betitleyici istatistik	Orijinal görüntü	Şifrelenmiş görüntü	Deşifrelenmiş görüntü
LFW	Ortalama	7,3988	7,9990	7,3988
	Standart sapma	0,3540	0,0001	0,3540
CPSM	Ortalama	7,5802	7,9999	7,5802
	Standart sapma	0,1509	0,0001	0,1509
PASCAL VOC 2012	Ortalama	7,4366	7,9991	7,4366
	Standart sapma	0,4447	0,0009	0,4447

MQTT bağlantısı ile uçtan uca iki bilgisayar arasında yapılan testlerde 50 Mbps hat üzerinden 24 milisaniye gecikmeyle, ilk veri gönderimi ağ trafiğine bağlı olarak ortalama 35 saniye ve diğer veriler ortalama 25 saniyede ulaştığı tespit edilmiştir. Gönderimlerde bahsedilen veri kümeleri kullanılarak yaklaşık 7000 görüntü verisi ile yapılan testte uçtan uca Gönderici ile Alıcı arasındaki mesaj iletim doğruluğu ve üretilen paketin tutarlılık kontrolü yapılmış, sonuçta tüm iletimdeki mesajlar üzerinden işlem %100 başarılı sonuçlanmıştır. Sonuç olarak gönderilen veri paketlerinin karşı tarafa hiçbir kayıp veya değişikliğe uğramadan ulaşıp olduğu garanti edilmiştir.

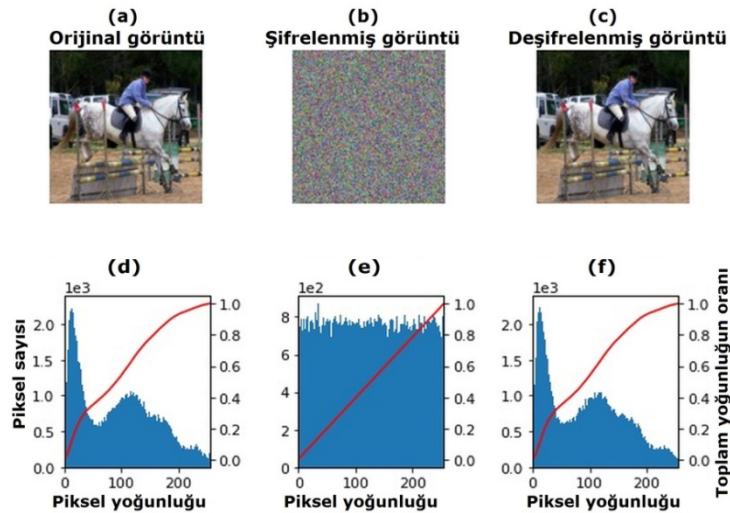
Çalışmamızda kullanılan YOLO modelinin CPSM, LFW ve PASCAL VOC 2012 veri kümelerindeki mevcut nesne ve sahne sınıflarına istinaden elde ettiği başarımlar olarak *IoU* eşik değeri 0,5 alınarak genel ortalama duyarlılık (*mAP*) değerleri deneylerimizdeki veri kümeleri bazında sırasıyla; %51, %91,52 ve %73,12 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, *IoU* eşik değeri 0,5-0,95 aralığında alındığında LFW ve PASCAL VOC 2012 veri kümelerinde genel ortalama duyarlılık değerleri sırasıyla; %68,21 ve %54,8’dir. CPSM veri kümesi ile yapılan nesne tespitinde kullanılan görüntüler taşıyıcı ana çerçeve (container frame) ile gösterildiğinden *IoU* eşik değerinin 0,5 olarak alınması başarımlar ölçümünde yeterli olmuştur. Literatürdeki Kang ve Choi [15] çalışması incelendiğinde şifrelemede kullanılan ROI bölgesinin ortalama olarak çözünürlüğü bizim çalışmamıza (256×256) en yakın olan (Kang ve Choi deneyindeki

"Image3" için) 173x592 piksel çözünürlüğünde toplam şifreleme zaman karmaşıklığı 2,2421 saniyedir. Çalışmamızda ise tam ölçekli görüntü kullanılarak yapılan şifrelemedeki toplam zaman karmaşıklığı 0,2638 saniyedir. Bu açıdan çalışmamızdaki zamansal karmaşıklığın oldukça düşük olması nedeniyle önerdiğimiz sistem son kullanıcı için daha tercih edilebilir bir sistemdir.

Aşağıdaki Şekil 3 ve Şekil 4'te Oxford PASCAL VOC 2012 veri kümesinden alınan görüntü örnekleri üzerinden şifreleme ve deşifreleme sonucunda görüntüdeki renk kanallarından elde edilen değerlerin ortalamalarının alınması ile hesaplanan görüntü olasılık yoğunluk fonksiyonuna göre histogram grafikleri verilirken, Şekil 5 ve Şekil 6'da ise şifrelenmemiş görüntülerin entropi değerlerine dair ısı haritası olarak verilmiştir. Şekil 3 ve Şekil 4'te (a) şıkki orijinal görüntü, (b) şıkki orijinal görüntünün şifrelenmiş hali, (c) şıkki şifrelendikten sonra Alıcı tarafında şifresi çözülmüş görüntülerin örnekleri görülmektedir. Buradaki (a), (b) ve (c) şıkkiındaki görüntülere ait sırasıyla ilgili histogram grafikleri bunların altındaki (d), (e) ve (f) şıkkiında verilmiştir.



Şekil 3. Oxford PASCAL VOC veri kümesinden alınan birinci örnek görüntünün sonuçları (First sample image's results from the Oxford PASCAL VOC dataset)

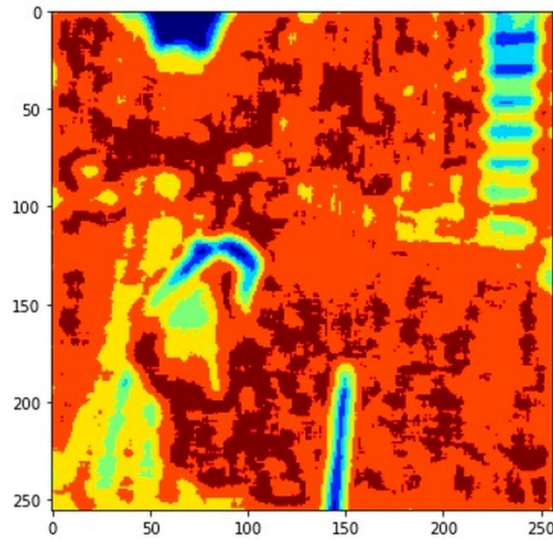


Şekil 4. Oxford PASCAL VOC 2012 veri kümesinden alınan ikinci örnek görüntünün sonuçları (Second sample image's results from the Oxford PASCAL VOC 2012 dataset)

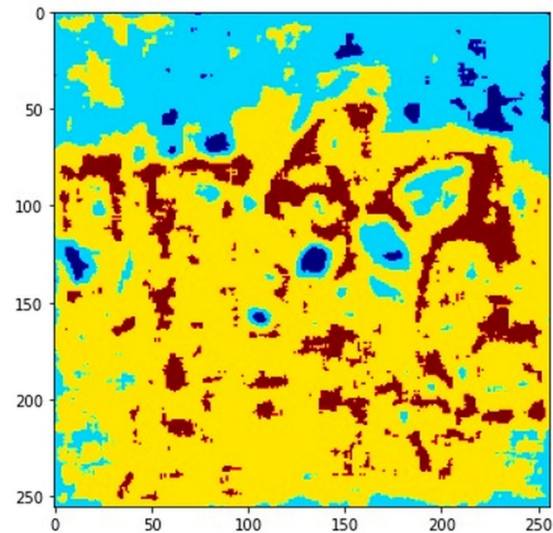
Şekil 3'den Şekil 12'ye kadar olan şekillerden görüleceği gibi şifreleme için kullanılan Gönderici taraftaki orijinal (şifresiz) görüntü ile Alıcı tarafta şifresi çözülmüş (deşifrelenmiş) görüntünün hem görsel olarak hem de olasılık yoğunluk fonksiyonuna göre histogram dağılımı olarak birebir aynı olduğu anlaşılmaktadır. Veri iletiminde bozulma olmaması, şifreleme ilâ deşifreleme altyapısının uçtan uca iletim sonucunda düzgün çalıştığı bu açıdan anlaşılmaktadır. Bu şekillerde şifrelenmiş görüntülerin histogramına dikkatlice bakıldığında tekdüze (uniform) bir dağılım olduğu, bu sayede tüm piksellerin renk aralığındaki tüm renklerle ifade edilerek karıştırılabildiği ispatlanmaktadır. Buna göre,

ilgili Şekil 3, Şekil 4, Şekil 7, Şekil 9, Şekil 11 ve Şekil 14 şekillerindeki histogram dağılımlarının birikimli dağılım fonksiyonuna göre uygunluk derecesi kırmızı çizgi ile ortaya konulmaktadır. Aşağıda Şekil 5'te Şekil 3'teki, Şekil 6'da Şekil 4'teki, Şekil 8'de Şekil 7'deki ve Şekil 10 ise Şekil 9'daki görüntünün Alıcı tarafta deşifrenmesi karşılığında oluşan sonuç görüntülerinden 10×10 'luk çerçeve ile tanımlanmış çekirdekle (kernel) elde edilmiş entropi değerlerine dair ısı haritası verilmiştir. Buradaki iletim sonrası deşifrenmiş görüntülerdeki entropi değerleri ve bunlara dair ısı haritaları iletim öncesi mevcut orijinal (şifresiz) görüntülerin entropi değerleri ile birebir aynı olmaktadır.

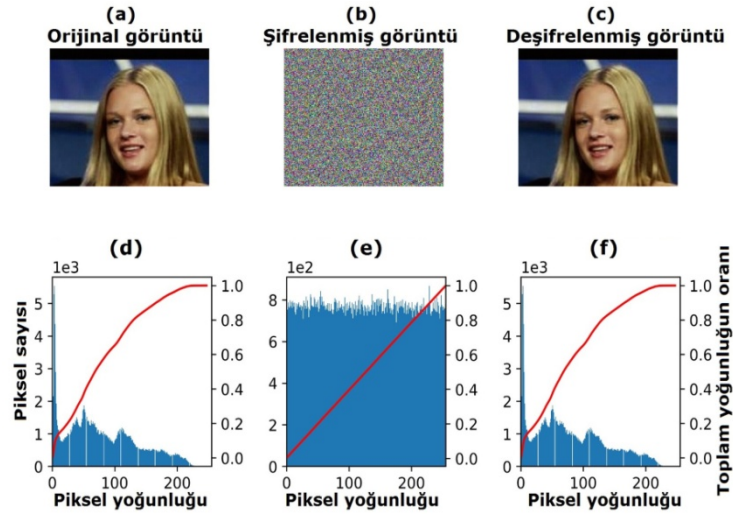
Görüntülerin şifreleme işlemi öncesi ve sonrasındaki durumlarını kıyaslamak adına görüntü entropisi [41], görüntünün belirli bir bölümündeki karmaşıklık seviyesini temsil eden bir değer elde etmede kullanılabilir. Bu karmaşıklık kaba kuvvet (brute force) saldırılarına karşı şifrelemenin ne kadar dayanıklı olduğuna dair bir ölçüm verir. Bir görüntünün entropi değeri kullanılarak buna dair üretilen histogram şifrelemenin saldırıya karşı dayanıklılığı (resilience) ve gürbüz (robust) olduğunu göstermektedir. Histogram, görüntüdeki farklı renk seviyesi olasılıklarını da göstermektedir.



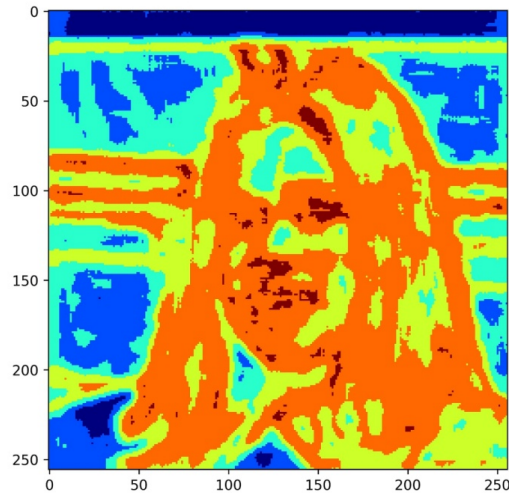
Şekil 5. Şekil 3'teki görüntünün Alıcı tarafta deşifrenmesiyle alınan entropi sonuçlarının ısı haritası (Heat map for entropy results taken from the image in Figure 3 decrypted at Receiver side)



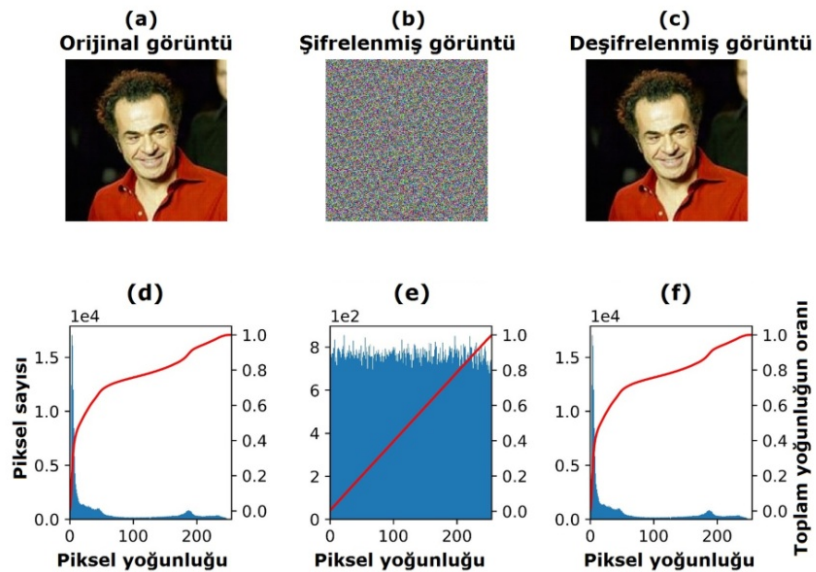
Şekil 6. Şekil 4'teki görüntünün Alıcı tarafta deşifrenmesiyle alınan entropi sonuçlarının ısı haritası (Heat map for entropy results taken from the image in Figure 4 decrypted at Receiver side)



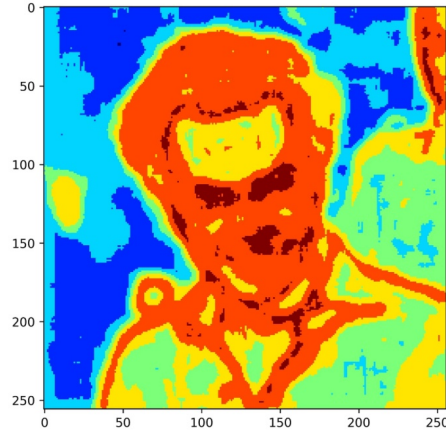
Şekil 7. Labeled Faces in the Wild (LFW) veri kümesinden alınan ilk örnek görüntünün sonuçları (First sample image's results from the Labeled Faces in the Wild dataset)



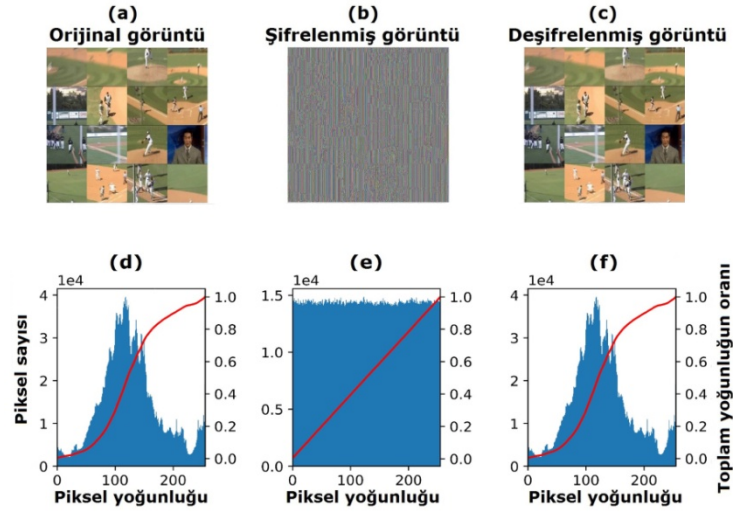
Şekil 8. Şekil 7'deki görüntünün Alıcı tarafta deşifrelenmesiyle alınan entropi sonuçlarının ısı haritası (Heat map for entropy results taken from the image in Figure 7 decrypted at Receiver side)



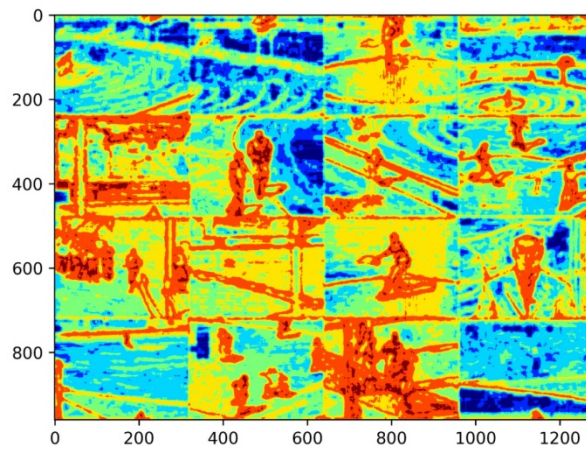
Şekil 9. Labeled Faces in the Wild (LFW) veri kümesinden alınan ikinci örnek görüntünün sonuçları (Second sample image's results from the Labeled Faces in the Wild dataset)



Şekil 10. Şekil 9'daki görüntünün Alıcı tarafta deşifrenmesiyle alınan entropi sonuçlarının ısı haritası (Heat map for entropy results taken from the image in Figure 9 decrypted at Receiver side)



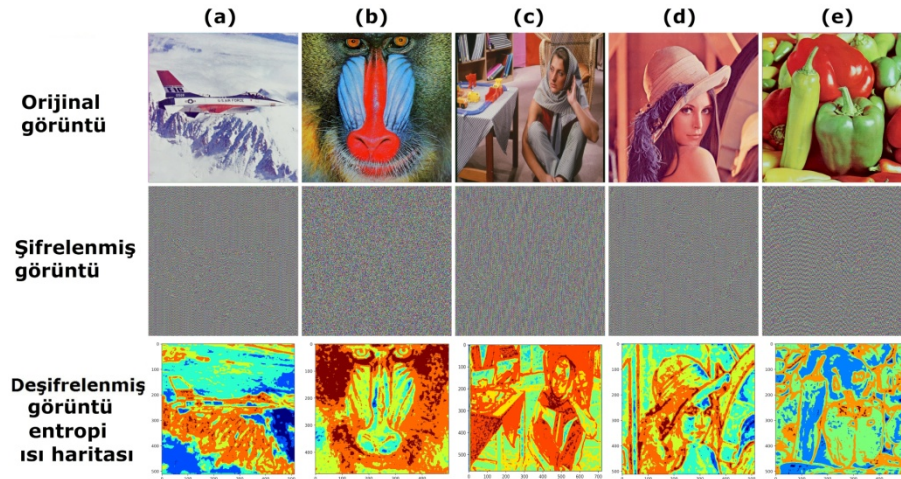
Şekil 11. Unsegmented Sports News Videos (CPSM) veri kümesinden alınan örnek taşıyıcı ana çerçeve görüntüsünün sonuçları (Sample container frame image's results from the Unsegmented Sports News Videos dataset)



Şekil 12. Şekil 11'deki görüntünün Alıcı tarafta deşifrenmesiyle alınan entropi sonuçlarının ısı haritası (Heat map for entropy results taken from the image in Figure 11 decrypted at Receiver side)

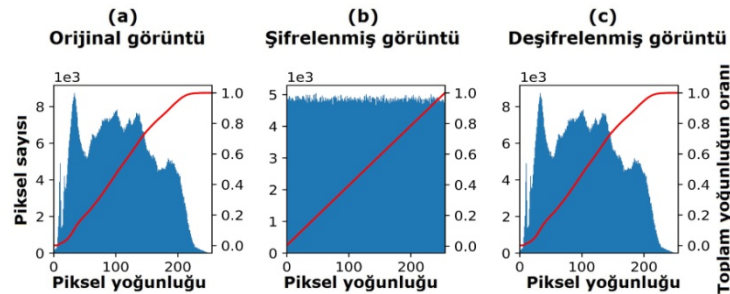
Bu bölümdeki entropi değerlerinin ısı haritalarından anlaşılacağı üzere, orijinal görüntülerde, birbirinden farklı bölgeler ile çeşitli nesnelere ifade edilmektedir. Bu durum şifrelemenin karmaşıklığını arttırmaktadır. Bu nedenle entropi değerleri farklı veri kümeleri için farklı değerlerle elde edilmiştir. Şekil 13'te literatürdeki çalışmalarda sıklıkla kullanılan "Air Plane", "Baboon", "Barbara", "Lenna" ve "Peppers" test görüntüleri görülmektedir. Bazı çalışmalarda "Lenna" görüntüsü "Lena" şeklindeki

yazımı ile ifade edilmektedir. Şekil 13'te (a), (b), (c), (d) ve (e) şıkları için sırasıyla "Air Plane", "Baboon", "Barbara", "Lenna" ve "Peppers" görüntülerine ait olarak şekildeki satırlarda sırasıyla orijinal görüntü, şifrelenmiş görüntünün kendisi ve deşifrelenmiş görüntünün ise elde edilen entropi değerlerine dair ısı haritaları görülmektedir. Şekil 13'te verilmiş bu görüntüler için yüzdelik oran olarak NPCR değerleri sırasıyla; %99,6093 ile "Air Plane", %99,6093 ile "Baboon", %99,6095 ile "Barbara", %99,6093 ile "Lenna", %99,6093 ile "Peppers" olarak hesaplanmıştır. Yüzdelik oran olarak UACI değerleri ise sırasıyla; %9,86 ile "Air Plane", %10,39 ile "Baboon", %8,63 ile "Barbara", %9,77 ile "Lenna", %9,79 ile "Peppers" olarak hesaplanmıştır. Bu görüntüler için UACI ortalaması %9,68 olmaktadır. Deneylerdeki denemeler üzerinden alınan ortalama entropi değerlerine yakından bakıldığında, Şekil 13'te 256×256 çözünürlükte verilen orijinal test görüntüsünün çalışmamızdaki Lehmer tabanlı rastgele anahtar ile şifrelenmiş halinin entropi değerleri sırasıyla "Air Plane" görüntüsü için 7,9264, "Baboon" görüntüsü için 7,9341, "Barbara" görüntüsü için 7,9401, "Lenna" görüntüsü için 7,9303 ve "Peppers" görüntüsü için 7,9338 olarak elde edilmiştir. Mesaj iletimi sonrası deşifrelenmiş görüntünün ortalama entropi değerleri sırasıyla "Air Plane" görüntüsü için 6,7039, "Baboon" görüntüsü için 7,7853, "Barbara" görüntüsü için 7,7232, "Lenna" görüntüsü için 7,7520 ve "Peppers" görüntüsü için 7,7309 olarak elde edilmiştir.



Şekil 13. "Air Plane", "Baboon", "Barbara", "Lenna" ve "Peppers" görüntülerinin orijinal, şifrelenmiş ve Alıcı tarafta deşifrelenmiş görüntünün entropi değerleri ısı haritaları (Original, encrypted images and heat map for entropy results taken from the images decrypted at Receiver side as given as "Air Plane", "Baboon", "Barbara", "Lenna" and "Peppers")

Gönderici tarafa şifrelenmiş ve Alıcı tarafta deşifrelenmiş görüntülerdeki en yüksek entropi değerleri "Barbara" görüntüsü ile elde edilmiştir. Buna göre "Barbara" için şifrelenmiş haldeki görüntüde ortalama entropi değeri 7,9401 ve deşifrelenmiş haldeki görüntüde ise bu ölçüt 7,7232 olarak hesaplanmış, bu sayede en yüksek karıştırma oranına sahip şifrelemenin bu görüntü için olduğu gözlemlenmiştir. Tüm ortalama entropi değerleri Gönderici taraf ile Alıcı taraf arasında veri iletiminin ve şifreleme ilâ deşifreleme işleminin sorunsuz olarak gerçekleştirildiğini kanıtlamaktadır. Aşağıdaki Şekil 14'te deneylerimizdeki en yüksek entropi değerine sahip "Barbara" görüntüsüne ait olasılık yoğunluk fonksiyonuna göre histogram grafikleri şekildeki şıklar olarak sırasıyla; (a) orijinal görüntü, (b) şifrelenmiş görüntü ve (c) deşifrelenmiş görüntü için verilmiştir.



Şekil 14. "Barbara" görüntüsünün orijinal hali, şifrelenmiş hali ve deşifrelenmiş haline dair histogram grafikleri (Histogram plots for "Barbara" image as given as original image, encrypted image and decrypted image)

Şekil 14'ten görülebileceği gibi şifreleme ve deşifreleme sonucunda "Barbara" görüntüsünde hiçbir

bilgi kaybı yaşanmamış ve histogram ile ifade edilen görüntüye dair piksel yoğunluk dağılımları Alıcı taraftaki deşifreleme ile tekrar oluşturulan görüntüde başarılı bir biçimde aynı kalmıştır. Şifrelenen görüntünün histogramı ise orijinal görüntünün histogramına göre oldukça farklı elde edilmiştir. Şekildeki histogram dağılımlarının birikimli dağılım fonksiyonuna göre uygunluk derecesi kırmızı çizgi ile ortaya konulmaktadır. Çalışmamızda önerilen yöntemimiz sayesinde histogram tabanlı şifre kırma saldırılarına karşı yeterince dayanıklı olabilecek bir şifreleme işlemi yapıldığı anlaşılmaktadır. Aşağıdaki Tablo 3'de literatürdeki çeşitli çalışmalarla bizim çalışmamızda elde edilen deneysel sonuçlar karşılaştırılarak kıyaslanmaktadır. İlgili yayının atfı altında deneylerinde kullandıkları görüntü çözünürlüğü de parantez içerisinde belirtilmiştir (200×200 ve 256×256 çözünürlükte olarak).

Tablo 3. Literatürdeki diğer çalışmalarla başarımların kıyaslama tablosu (Performance benchmarking table for other's studies in the literature)

Görüntü	Başarım ölçütleri	Pareek ve ark. [42] (200x200)	Zhu ve ark. [43] (256x256)	Çavuşoğlu ve ark. [44] (256x256)	Hanif ve ark. [45] (256x256)	Çalışmamız (256x256)
Air Plane	Entropi	-	-	-	7,9954	7,9264
	NPCR	-	-	-	%99,65	%99,6093
	UACI	-	-	-	%33,8155	%9,86
Baboon	Entropi	7,9979	7,9968	7,9967	7,9952	7,9341
	NPCR	-	-	-	%99,6521	%99,6093
	UACI	-	-	-	%33,1627	%10,39
Barbarra	Entropi	-	-	-	-	7,9401
	NPCR	-	-	-	-	%99,6095
	UACI	-	-	-	-	%8,63
Lenna	Entropi	7,9996	7,9976	7,9958	7,9957	7,9303
	NPCR	-	%99,62	%0,0015	%99,5743	%99,6093
	UACI	-	%33,46	%0,0086	%33,0509	%9,77
Peppers	Entropi	7,9984	7,9975	7,9963	-	7,9338
	NPCR	-	-	-	-	%99,6093
	UACI	-	-	-	-	%9,79

Literatürdeki bu beş adet test görüntüsünü 200×200 ve 256×256 çözünürlükte olarak şifreleme deneylerinde kullanan çeşitli çalışmalara yakından bakıldığında; Pareek ve arkadaşları [42] çalışmasında, önerdikleri şifreleme yöntemiyle oluşturulan şifreli görüntünün entropi sonuçlarına göre sırasıyla "Baboon" görüntüsü için 7,9979, "Lenna" görüntüsü için 7,9996 ve "Peppers" görüntüsü için 7,9984 değerleri elde edilmiştir. Zhu ve arkadaşları [43] çalışmasında, önerilen kaos tabanlı S dönüşüm kutularına dayanan şifreleme yöntemiyle oluşturulan şifreli görüntünün entropi sonuçlarına göre sırasıyla "Baboon" görüntüsü için 7,9968, "Lenna" görüntüsü için 7,9976 ve "Peppers" görüntüsü için 7,9975 değerleri elde edilmiştir. Çavuşoğlu ve arkadaşları [44] çalışmasında, önerilen kaos tabanlı S dönüşüm kutuları kullanan şifreleme yöntemiyle oluşturulan şifreli görüntünün entropi sonuçlarına göre sırasıyla "Baboon" görüntüsü için 7,9967, "Lenna" görüntüsü için 7,9958 ve "Peppers" görüntüsü için 7,9963 değerleri elde edilmiştir. Hanif ve arkadaşları [45] çalışmasında, önerilen piksellerin blok seviyesi takası ve kaotik sistem tabanlı şifreleme yöntemiyle oluşturulan şifreli görüntünün entropi sonuçlarına göre sırasıyla "Air Plane" görüntüsü için 7,9954, "Baboon" görüntüsü için 7,9952, "Lenna" görüntüsü için 7,9957 değerleri elde edilmiştir. Hanif ve arkadaşlarının çalışmasında ayrıca NPCRC ölçütü ile sırasıyla "Air Plane" görüntüsü için %99,6518, "Baboon" görüntüsü için %99,6521, "Lenna" görüntüsü için %99,5743 değerleri ve UACI ölçütü ile sırasıyla "Air Plane" görüntüsü için %33,8155, "Baboon" görüntüsü için %33,1627, "Lenna" görüntüsü için %33,0509 değerleri elde edilmiştir. Zhu ve arkadaşları çalışmasında "Lenna" görüntüsü için NPCRC ölçütü ile %99,62 değeri ve UACI ölçütü ile %33,46 değeri elde edilmiştir. Çavuşoğlu ve arkadaşları çalışmasında ise hem NPCRC hem de UACI değerleri sıfıra oldukça yakın çok küçük değerler olarak elde edilmiştir. Bu bahsi geçen çalışmalarda tüm deneysel sonuçlara dair değerler incelendiğinde çalışmamızda önerilen Lehmer algoritmasıyla üretilen rastgele sayı tabanlı anahtar kullanan şifreleme yöntemimizin literatürdeki çalışmalarla oldukça yakın sonuçlar ürettiği, görüntü ve videoların şifrelenerek güvenli bir biçimde iletiminde tercih edilebilir bir yaklaşım olduğu görülmektedir.

6. Sonuçlar ve Tartışma (Results and Discussion)

Bilgisayar ortamına aktarılan görüntü ve video, içerdikleri ham verinin iletilmesinde çeşitli algoritmalarla güvenliğin sağlanmasına uygun matris yapıları ve ilgili matematik altyapı sayesinde, zenginleştirilmiş bilgi taşıyan güvenli iletim ortamlarında sıklıkla kullanılmaktadır. Çalışmamızda, veri güvenliği ve görüntü veya video içerisindeki nesnelere bilgilerin uçtan uca iletiminde şifreleme ve

deşifreleme mekanizması kurulurken, rastgele sayı üretimi tabanlı anahtar ile şifreleme için Lehmer algoritmasının kullanımı çeşitli veri kümeleri üzerinden denenmiştir. Bu denemelerde güvenli iletim ortamı kurulmasında MQTT protokolü sayesinde birbirini tamamlayan uç taraflar (end-to-end or peer-to-peer) için iletilen bilginin güvenilirliği, tekrar edilebilirliği, sürdürülebilirliği ve son kullanıcının bu bilgiyi elde ediş biçimi ön plana alınmıştır. Deneylerimizde başarımın ölçülmesinde şifrelemenin kalitesine dair başarım ölçütleri (NPCR ve UACI) yanı sıra deşifrelenmiş görüntünün orijinal görüntü ile arasındaki benzerliğe ve hata miktarına dayalı bozulma miktarı (SSIM ve PSNR) olup olmadığı da kontrol edilmiştir. Çalışmanın en önemli katkısı, Lehmer algoritmasının hem çeşitli ölçeklerde görüntüler için bit bazında kullanımının hem de derin öğrenme modelleri tabanlı (YOLO ve CLIP) nesne tespit ve sahne yorumlama yöntemleri ile harmanlanarak son kullanıcıya güvenilir bir bilişim sistemi altyapısı oluşturulmasında kullanılabilecek olmasıdır. İleriki çalışmalarımızda derin öğrenme modellerinin şifreleme mekanizmasına katkısı araştırılarak, Lehmer haricinde uygun rastgele sayı üretici algoritmaların sisteme entegrasyonu ve uçtan uca şifrelemeye dair çeşitli veri kümeleri ile daha geniş kapsamlı bir çalışma yapılması planlanmaktadır.

Teşekkür (Acknowledgment)

Çalışmamızdaki deneylerde kullanılan halka açık erişimli görüntü veri kümeleri ve video veri kümesinin değerli sahiplerine teşekkür ederiz.

Çıkar Çatışması Beyanı (Conflict of Interest Statement)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması bildirilmemiştir.

Kaynaklar (References)

- [1] N. Koo, G. H. Cho, Byeonghwan and S. Kwon, "An Improvement of the Cipolla-Lehmer Type Algorithms", *National Institute for Mathematical Sciences*, arXiv Preprint: 1501.04036, 2015. doi:10.48550/arXiv.1501.04036
- [2] D. Saif and A. Matrawy, "A Pure HTTP/3 Alternative to MQTT-over-QUIC in Resource-Constrained IoT", *Carleton University*, arXiv Preprint: 2106.12684, 2021. doi:10.48550/arXiv.2106.12684
- [3] M. Ahmed and M. M. Akhtar, "Smart Home: Application using HTTP and MQTT as Communication Protocols", *Indian Institute of Technology*, arXiv Preprint: 2021.10339, Delhi, 2021. doi:10.48550/arXiv.2112.10339
- [4] G. Perrone, M. Vecchio, J. D. Ser, F. Antonelli, V. Kapoor, "The Internet of Things: a Survey and Outlook", *Research Centre at eCampus University*, arXiv Preprint:1910.13965, Novedrate (Como), Italy, 2019. doi:10.48550/arXiv.1910.13965
- [5] M. Lirzin and B. Markhoff, "Towards an ontology of HTTP interactions," 2020, France, arXiv Preprint: 2007.13475 [cs.AI], doi:10.48550/arXiv.2007.13475
- [6] S. Hazelhurst, "A Proposal for Dynamic Access Lists for TCP/IP Packet Filing," 2001, *Programme for Highly Dependable Systems*, arXiv Preprint: cs/0110013. doi:10.48550/arXiv.cs/0110013
- [7] S. Kumar, M. P. Andersen, H.-S. Kim and D. E. Culler, "Performant TCP for Low-Power Wireless Networks," 2018, *University of California, Berkeley*, arXiv Preprint: 1811.02721. doi:10.48550/arXiv.1811.02721
- [8] Y. Bengio, A. C. Courville and P. Vincent, "Representation Learning: A Review and New Perspectives," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 35, no. 8, pp. 1798-1828, Aug 2013. doi:10.1109/TPAMI.2013.50
- [9] P. Jiang, D. Ergu, F. Liu, Y. Cai and B. Ma, "Review of Yolo Algorithm Developments," *Procedia Computer Science*, vol. 199, no. 1, pp. 1066-1073, 2022. doi:10.1016/j.procs.2022.01.135. ISSN 1877-0509
- [10] A. Radford, J.-W. Kim, C. Hallacy, A. Ramesh, G. Goh, S. Agarwal, G. Sastry, A. Askell, P. Mishkin, J. Clark, G. Krueger and I. Sutskever, "Learning Transferable Visual Models From Natural Language Supervision," arXiv Preprint: 2103.00020, 2021. doi:10.48550/arXiv.2103.00020
- [11] A.K. Bantia and N. Tiwari, "Image Encryption Using Pseudo Random Number Generators", *International Journal of Computer Applications*, vol. 67, no. 20, pp. 1-8, April 2013.
- [12] V. Viswanatha, R. K. Chandana, A. C. Ramachandra, "Real Time Object Detection System with YOLO and CNN Models: A Review," arXiv Preprint: 2208.00773, 2022. doi:10.48550/arXiv.2208.00773
- [13] H. Oğraş and M. R. Tür, "An Effective Image Encryption Algorithm Using Bit Reversal Permutation and a New Chaotic Map," *Gazi University Journal of Science*, vol. 35, no. 2, pp. 542-556, Jun. 2022. doi:10.35378/gujs.872818

- [14] S. Somaraj and M.A. Hussain, "Securing Medical Images by Image Encryption using Key Image," *International Journal of Computer Applications*, vol. 104, no. 3, pp. 30-34, 2014. doi:10.5120/18184-9079
- [15] S.-W. Kang, and U.-S., Choi, "ROI Image Encryption using YOLO and Chaotic Systems," *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 12, no. 7, pp. 466-474, 2021. doi:10.14569/IJACSA.2021.0120754
- [16] P. Lorek, G. Łoś, K. Gotfryd, and F. Zagórski, "On testing pseudorandom generators via statistical tests based on the arcsine law," arXiv Preprint: 1903.09805, 2019. doi:10.48550/arXiv.1903.09805
- [17] K.S. Chua, "Chebyshev Polynomials And Higher Order Lucas Lehmer Algorithm," arXiv Preprint: 2010.02677, 2020. doi:10.48550/arXiv.2010.02677
- [18] H.G. Katzgraber, "Random Numbers in Scientific Computing: An Introduction," Oldenburg, Germany, arXiv Preprint: 1005.4117, 2010. doi:10.48550/arXiv.1005.4117
- [19] J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick, and A. Farhadi, "You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection," University of Washington, arXiv Preprint: 1506.02640, 2015. doi:10.48550/arXiv.1506.02640
- [20] O. Russakovsky, J. Deng, H. Su, J. Krause, S. Satheesh, S. Ma, Z. Huang, A. Karpathy, A. Khosla, M. Bernstein, A.C. Berg, and L. Fei-Fei, "ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge," Stanford University, Stanford, USA, arXiv Preprint: 1409.0575, 2014. doi:10.48550/arXiv.1409.0575
- [21] T. Ridnik, H. Lawen, E. Ben-Baruch, and A. Noy, "Solving ImageNet: a Unified Scheme for Training any Backbone to Top Results," arXiv Preprint: 2204.03475, 2022. doi:10.48550/arXiv.2204.03475
- [22] L. Beyer, O. J. Hénaff, A. Kolesnikov, X. Zhai and A. V. D. Oord, "Are we done with ImageNet?," arXiv Preprint: 2006.07159, 2020. doi:10.48550/arXiv.2006.07159
- [23] Z. Wang, W. Liu, Q. He, X. Wu, and Z. Yi, "CLIP-GEN: Language-Free Training of a Text-to-Image Generator with CLIP," arXiv Preprint: 2203.00386, 2022. doi:10.48550/arXiv.2203.00386
- [24] Y. Cui, L. Zhao, F. Liang, Y. Li, and J. Shao, "Democratizing Contrastive Language-Image Pre-training: A CLIP Benchmark of Data, Model, and Supervision," arXiv Preprint: 2203.05796, 2022. doi:10.48550/arXiv.2203.05796
- [25] H. You, L. Zhou, B. Xiao, N. Codella, Y. Cheng, R. Xu, S.-F. Chang, and L. Yuan, "Learning Visual Representation from Modality-Shared Contrastive Language-Image Pre-training," arXiv Preprint: 2207.12661, 2022. doi:10.48550/arXiv.2207.12661
- [26] Katna, "Understanding katna," *katna.readthedocs.io*, 2022. [Online]. Available: https://katna.readthedocs.io/en/latest/understanding_katna.html. [Accessed: Aug., 2022].
- [27] Python Imaging Library (PIL), "Pillow," *python-pillow.org*, 2022. [Online]. Available: <https://python-pillow.org/>. [Accessed: Aug., 2022].
- [28] Y. Shi and Z. Zhang, "Communication Complexities of XOR functions," *Quantum Information & Computation*, vol. 9, no. 3, pp. 255-263, March 2009. doi:10.5555/2011781.2011786
- [29] P. Bourhis, J.L. Reutter, F. Suárez and D. Vrgoč, "JSON: data model, query languages and schema specification", arXiv Preprint: 1701.02221, 2017. doi:10.48550/arXiv.1701.02221
- [30] UMASS, "Labeled Faces in the Wild Home," *viswww.cs.umass.edu*, 2022. [Online]. Available: <http://viswww.cs.umass.edu/lfw/>. [Accessed: Aug., 2022].
- [31] E. Learned-Miller, G.B. Huang, A. R. Chowdhury, H. Li, and G. Hua, "Labeled Faces in the Wild: A Survey," *In Advances in Face Detection and Facial Image Analysis*, pp. 189-248, 2016, doi:10.1007/978-3-319-25958-1_8
- [32] M. Everingham, L.V. Gool, C.K.I. Williams, J. Winn and A. Zisserman, "The Pascal Visual Object Classes (VOC) Challenge," *International Journal of Computer Vision*, vol. 88, pp. 303-338, 2010. doi:10.1007/s11263-009-0275-4
- [33] Oxford Pascal VOC, "Visual Object Classes Challenge 2012 (VOC2012)", *host.robots.ox.ac.uk*, 2022. [Online]. Available: <http://host.robots.ox.ac.uk/pascal/VOC/voc2012/>. [Accessed: Aug., 2022].
- [34] Tensorflow, "PASCAL VOC dataset", *tensorflow.org*, 2022. [Online]. Available: <https://www.tensorflow.org/datasets/catalog/voc>. [Accessed: Aug., 2022].
- [35] CPSM, "Unsegmented Sports News," *www.ed.ac.uk*, 2022. [Online]. Available: <https://homepages.inf.ed.ac.uk/thospeda/downloads.html>. [Accessed: Aug., 2022].
- [36] T. M. Hospedales, S. Gong and T. Xiang, "Learning Tags from Unsegmented Videos of Multiple Human Actions," *2011 IEEE 11th International Conference on Data Mining*, pp. 251-259, 11-14 December 2011. doi: 10.1109/ICDM.2011.90
- [37] J. Nilsson, and T. Akenine-Möller, "Understanding SSIM," arXiv Preprint: arXiv:2006.13846, 2020. doi: 10.48550/arXiv.2006.13846. [Accessed: Aug., 2022].

- [38] O. Keleş, M.A. Yılmaz, A.M. Tekalp, C. Korkmaz, and Z. Doğan, "On the Computation of PSNR for a Set of Images or Video," arXiv Preprint: arXiv:2104.14868, 2021. doi:10.48550/arXiv.2104.14868
- [39] A. A. Shah, A. Adeel, J. Ahmad, A. Al-Dubai, M. Gogate, A. Bishnu, M. Diyan, T. Hussain, K. Dashtipour, T. Ratnarajah, and A. Hussain, "A Novel Chaos-based Light-weight Image Encryption Scheme for Multi-modal Hearing Aids," arXiv Preprint: 2202.05662, 2022. doi: 10.48550/arXiv.2202.05662
- [40] Y. Wu, J.P. Noonan and S. Aгаian, "NPCR and UACI Randomness Tests for Image Encryption," *Cyber Journals: Multidisciplinary Journals in Science and Technology, Journal of Selected Areas in Telecommunications (JSAT)*, pp.31-38. 2011.
- [41] D. J. C. MacKay, *Information Theory, Inference, and Learning Algorithms*, Cambridge University Press. UK, 2003.
- [42] N. K. Pareek, V. Patidar, and K. K. Sud, "Colour Image Encryption Scheme Based on Permutation and Substitution Techniques," *In Advances in Computer Science and Information Technology, CCSIT 2011, Communications in Computer and Information Science*, vol. 131, pp. 413-327, 2011, doi:10.1007/978-3-642-17857-3_41
- [43] S. Zhu, G. Wang, and C. Zhu, "A Secure and Fast Image Encryption Scheme based on Double Chaotic S-Boxes," *Entropy*, vol. 21, no. 8, p. 790, 2019. doi:10.3390/e21080790
- [44] Ü. Çavuşoğlu, S. Kaçar, I. Pehlivan, and A. Zengin, "Secure image encryption algorithm design using a novel chaos based S-box," *Chaos Solitons Fractals*, vol. 95, pp. 92–101, 2017. doi:10.1016/j.chaos.2016.12.018
- [45] M. Hanif, N. Iqbal, F.U. Rahman, M.A. Khan, T.M. Ghazal, S. Abbas, M. Ahmad, H.A. Hamadi, and C.Y. Yeun, "A Novel Grayscale Image Encryption Scheme Based on the Block-Level Swapping of Pixels and the Chaotic System," *Sensors*, vol. 22, no. 16, p. 6243, 2022. doi:10.3390/s22166243

This is an open access article under the CC-BY license



GAZİ

JOURNAL OF ENGINEERING SCIENCES

Mask R-CNN Based Segmentation and Classification of Blood Smear Images

Hilal Atıcı^{a,*}, Hasan Erdinç Koçer^b

Submitted: 27.06.2022 Revised: 14.02.2023 Accepted: 11.03.2023 doi:10.30855/gmbd.0705058

ABSTRACT

Keywords: Deep Learning, Segmentation, Classification, Blood Cell

^{a,*} Selcuk University, Technology Faculty, Computer Engineering 42130 - Konya, Türkiye
Orcid: 0000-0002-1859-8085
e mail: hilalatici@eskisehir.edu.tr

^b Selcuk University, Technology Faculty, Electrical and Electronics Engineering 42130 - Konya, Türkiye
Orcid: 0000-0002-0799-2140
e mail : ekocer@selcuk.edu.tr

*Corresponding author:
hilalatici@eskisehir.edu.tr

Analysis of microscopic images is a reliable laboratory method that provides useful information for disease diagnosis in medical field. Although advanced technological devices can help with blood disease diagnosis, a microscopic blood smear examination is required for a definitive diagnosis. Nowadays, technicians in many laboratories use microscope to detect anomalies in cells (defects in the cell, parasites, low or excess cell count, etc.). Experts' detection of anomalies provides critical information for disease diagnosis. For the expert, analysing microscopic images is a time-consuming and error-prone procedure. As a result, in this study, a method for accelerating expert examination and automatically detecting cells is presented. The importance of basic blood cell segmentation and classification is emphasized. PBC data set blood smear images were used as the data set. The system was built using the Mask R-CNN architecture, which is a region-based convolutional neural network. Mask R-CNN was tested using various spine structures. The sample segmentation feature in the Mask R-CNN algorithm was used to determine the segmentation of blood cells obtained from images, and the error rates were minimized as a result of the tests. The study focused on detecting eight classes but could be improved by enriching it with further classes and using blood cell images from different angles and better segmentation.

Kan Yayma Görüntülerinin Mask R-CNN Tabanlı Segmentasyonu ve Sınıflandırılması

ÖZ

Mikroskopik görüntülerin analizi, sağlık alanında hastalık teşhisinde yararlı bilgiler veren güvenilir bir laboratuvar yöntemidir. Kan hastalıklarının teşhisinde, ileri teknoloji cihazlar önemli bilgiler verseler de kesin tanı için mikroskopik kan yayma incelemesine ihtiyaç duyulmaktadır. Günümüzde, mikroskop birçok laboratuvarında teknisyenler tarafından kullanılmakta ve hücrelerdeki anomaliler (hücredeki bozukluklar, parazitler, düşük veya fazla hücre sayısı vb.) tespit edilmektedir. Uzmanların tespit ettiği anomaliler hastalıkların teşhisinde önemli bilgiler sunmaktadır. Mikroskopik görüntülerin analizi uzman için zaman alan ve hataya açık bir prosedürdür. Bu nedenle, bu çalışmada uzman tarafından uygulanan incelemeyi hızlandıran ve otomatik hücre tespit edebilen bir yöntem önerilmiştir. Temel kan hücrelerinin segmentasyonu ve sınıflandırılması üzerinde durulmuştur. Veri seti olarak PBC veri seti kan yayması görüntüleri kullanılmıştır. Sistemin geliştirilmesinde bölge-tabanlı evrişimsel sinir ağı olan Mask R-CNN mimarisi kullanılmıştır. Mask R-CNN için farklı omurga yapıları kullanılmış ve değerlendirilmiştir. Görüntülerden elde edilen kan hücrelerinin segmentasyonu, Mask R-CNN algoritmasında bulunan örnek bölütleme özelliği sayesinde farklı renklendirmeler yolu ile tespit edilmiş, hata oranları yapılan testler sonucunda en aza indirgenmiştir. Çalışmada sekiz sınıf tespitinde odaklanılmıştır ancak çalışma daha fazla sınıflar ile zenginleştirilerek ve farklı açılardan elde edilen kan hücresi görüntüleri kullanılarak geliştirilebilir ve daha iyi bölütleme yapılabilir.

Anahtar Kelimeler: Derin Öğrenme, Segmentasyon, Sınıflandırma, Kan Hücresi

1. Introduction

The microscope has obviously had an indispensable place in the field of medical diagnosis since its invention. Detection of microorganisms, not found in normal and healthy bodies yet in sick bodies, eliminating the microorganisms and dismissing the symptoms of the disease is a well-known treatment method. Moreover, conditions such as the lack of the required number of cells in the blood are important in the diagnosis and treatment of diseases. In addition, the distortion of the shape of the cells whose shape and properties are known (Amorphous Cell) is a mattering symptom for diseases. As can be conceded from here, the analysis of microscopic images has a vital place in medicine.

The analysis of microscopic images is utilized in many fields of technology and medicine. Today, technicians in many laboratories use the microscope to detect anomalies (defects in the cell, parasites, low/over cell count, and other abnormal conditions) Important information such as the status and number of cells or parasites distinguished by technicians are important in the diagnosis of the disease. There is a need for a more agile, reproducible method than human examination and classification of cells. For this reason, many image processing software has been developed to diagnose the disease and to obtain useful information from medical images.

The lack of specific signs and symptoms of some diseases causes misdiagnosis. Therefore, manual classification of blood cells is time-consuming and error-prone, making it difficult for experts to detect and classify blood cells. Accordingly; different cells need to be identified quickly, accurately and automatically.

The main blood cells examined in the peripheral smear are red blood cells (RBC), white blood cells (WBC) and platelets [1]. In contrast to the similarity in shape seen in red blood cells and platelets, leukocytes differ in cell type. Therefore, the analysis and classification of white blood cells in microscopy have gained prominence.

Many studies on the analysis of microscopic blood images have been published in the literature. Blood and urine analyses were performed in these studies, classification was made, and the diagnosis of some related diseases was emphasized.

The three known red blood cells, Elliptocyte, Discocyte, and Echinocyte, were classified using morphological methods in the 2010 study. As a result, a simple statistical analysis of each edge pixel's distance from the centre of mass was used. This method was 95.36% successful in recognizing Elliptocytes, 96.7% in recognizing normal Discocytes, and 98.63% in recognizing Echinocytes [2].

In a study, which was presented in 2013, the automated Otsu method and blood cell segmentation method were proposed for WBC (white blood cell) segmentation, along with image enhancement and arithmetic. The kNN classifier was used to classify blast cells from normal lymphocyte cells. The system was applied to 108 images in the public image dataset for the study of leukaemia. This method provided 93% accuracy [3].

In another study, which was examined in 2013, proposed a method for recognizing and classifying blood cells in microscopic images based on invariant moments and multi-class support vector machines (SVM). The research is divided into four stages: pre-processing, feature extraction, classification, and testing. Grayscale, median filtering, contrast, thresholding, and morphological processes are all part of the pre-processing stage. The constant moment values of the blood cells are calculated during the feature extraction stage. In the classification phase, a multi-class support vector machine (SVM) was used to classify the features extracted in the previous step. In the test phase, the success rates of the proposed system were examined. As a result of the test, a total success rate of 98.4% was determined [4].

In 2014, L.Putzo et al. were presented a complete and fully automated method for WBC identification and classification using microscopic images. Unlike other methods for defining the nucleus, the proposed method isolates the entire leukocyte before separating the nucleus and cytoplasm. This approach is required to thoroughly examine each cell component. Using a novel approach to remove the background pixel, different features such as shape, colour and texture are extracted from each cell component. This feature set was used to train various classification models to determine which one is

best suited for leukaemia detection. Out of 33 images taken with the same camera and under the same lighting conditions, 245 (92% accuracy) of a total of 267 leukocytes were correctly detected using this method. Using different classification models, it was found out that the support vector machine with a Gaussian radial-based core was the best model for leukaemia identification, with 93% and 98% accuracy [5].

In 2016, a study was conducted on the classification and counting of white blood cells. The study consists of image acquisition, image segmentation, feature extraction, classification and counting stages. Segmentation consists of two stages: cell and nucleus. The image dataset consists of 70 microscopic images of a blood smear. There are 90 samples of leukocytes including Lymphocyte, Neutrophil and Eosinophil. The classification was performed using the Neural Network Pattern Recognition tool in MATLAB. The overall accuracy using this method is 98.9%. Eosinophils were detected with 100% accuracy, Lymphocytes 96.7% and Neutrophils with 100% accuracy [6].

A software that can detect, count and classify blood cells (red and white) using various image processing techniques on blood sample images acquired digitally in a microscopic environment was developed in a 2018 study. The software employs various image processing techniques such as pre-processing, adaptive thresholding, Watershed and Hough transform. Blood cells were detected with an accuracy of 87-96% using the developed software [7].

In 2019, an effective image processing algorithm was designed to increase the probability of a diagnosis of acute lymphocyte leukaemia (ALL) cells, which are rather common in children and can result in death if left untreated. In the first step, the image is called up and converted to a grey-level image. Then, a discrete-time wavelet transform is applied to the image and a grey-level co-occurrence matrix is created for feature extraction and all features are written into the matrix. Features are extracted for training and test data. In the classification phase, the SVM method was used. While the success rate was 95.700% for cancer data, it was calculated as 96.466% for non-cancer data [8].

In a study conducted in 2020, an automatic PBC (Peripheral Blood Cell) image classifier compatible with mobile devices was designed. With its easy-to-implement lightweight structure and computationally efficient architecture, the proposed ShuffleNet based model has achieved a good solution for PBC classification. By eliminating manual feature extraction, the proposed system requires the expert to only feed the model with raw input images. The proposed deep learning model has reached an accuracy value of 97.94% while leaving behind the benchmark study with the same data set [9]. In 2021, a study was conducted on peripheral blood smear classification by tuning to pre-trained CNN architectures on the ImageNet dataset. Transfer learning is used by deep learning models to use previously learned features and to learn new features. All 27 models achieved greater than 98% accuracy in experiments, and 14 of them achieved greater than 99% accuracy. Thus, the study achieved success compared to previous studies. The study will be useful for future studies with a basic approach for blood cell classification in peripheral blood smear [10]. In a 2021 study, the Blood-Caps architecture was used to classify cells in a peripheral blood smear. PBC dataset consisting of images of 8 blood cell types was used. BloodCaps performed well for classification on limited datasets when tested. BloodCaps architecture outperforms AlexNet, VGG16, ResNet18 and InceptionV3. This study yielded a good result by classifying cells with 99.3% accuracy in blood smear microscopic examination [11]. Classification of blood cells is important for disease diagnosis and treatment. White blood cells also play a key role in diagnosing critical illnesses. There are different types of these cells. When diagnosing diseases related to white blood cells, experts need to distinguish the total number and types of the cells. In one study, a pre-trained deep learning model was used to distinguish between different types of WBCs. PBC dataset was used in this study. The best model on the data set was the Inception ResNetV2 model with Adam optimizer with 98.4% classification accuracy [12].

2. Material and Method

In this study, a segmentation study was performed on blood sample images obtained digitally in the microscopic environment in the PBC data set. Mask R-CNN architecture, a region-based convolutional neural network, was used for the segmentation and classification of cells on the PBC Dataset. Different deep learning models can be used as backbones for feature mapping in Mask R-CNN architecture. The backbone structure is a standard convolutional neural network and is used as a feature extractor. These

are the architectures ResNet50, ResNet101, ResNet152, ResNeXt50, VGG19, DenseNet121 and DenseNet169.

2.1. Deep Learning

Deep learning is a technology that is among the machine learning techniques. With deep learning, the aim is to transfer the learning ability of human beings to computers in our daily life and to perform the desired operations on the data. Deep learning algorithms are more advanced versions of artificial neural networks (ANNs). Structures, defined as neurons in ANN systems, are modelled to be interconnected in the same way that neurons in the biological nervous system interact with one another. The distinguishing aspect of Deep Learning algorithms from existing algorithms in machine learning is that they require a very high amount of data and hardware with very high computing power that can process this high data with its complex structure [13].

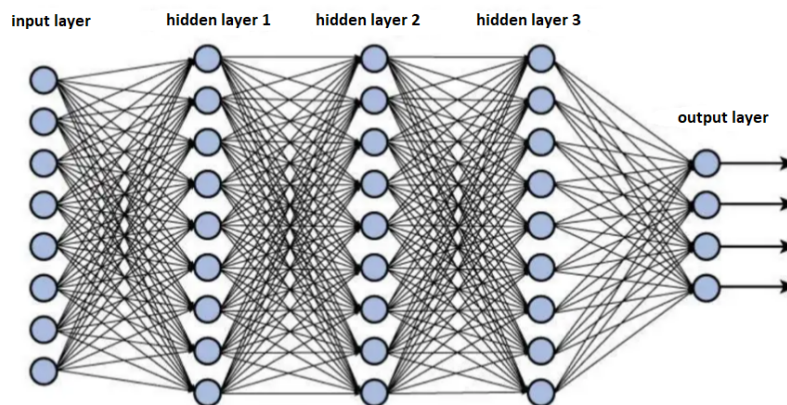


Figure 1. Deep network architecture with multiple layers[14]

Deep Learning methods learn distinguishing features on their own using a large number of inputs. The system must be adequately trained for this feature learning process to be successful. The feature learning phase is divided into layers. Lower-level features are less distinctive, whereas higher-level features, which are formed by merging lower-level layers, are more distinctive. Lower-level features serve as the foundation for creating more meaningful features. This method of learning differs from traditional Machine Learning algorithms. Because the features determined by human must be calculated prior to the training phase in traditional Machine Learning algorithms. The learning process is guided by these calculated properties [13].

2.2. Mask R-CNN

Mask R-CNN is a deep neural network that aims to solve the instance segmentation problem in computer vision. Mask R-CNN is a convolutional neural network that can segment different objects in an image or video. It has been developed for object recognition, location finding and segmentation on the image [15].

The first layer of the Mask R-CNN architecture is a convolutional neural network (CNN). In Faster R-CNN, by extracting the feature map from the input images, the existing objects on the image are classified and their locations are found. A regional recommendation network called the Region Proposal Network (RPN) is used to identify regions of an image that potentially contain an object. Then, the regional proposals are pooled and an estimate is made among the predetermined class or classes, which is finally presented as input data to the fully connected layer for object estimation [16]. While these processes are carried out more slowly in Fast R-CNN, faster results are obtained in Faster R-CNN [17]. The Mask R-CNN algorithm colors the surface of the predicted object with high accuracy and performs masking. In this segmentation process, instance segmentation feature is used. In example segmentation, if there is more than one object belonging to the same type of object in the image, these objects are separated from each other with different types of colours.

Mask R-CNN (regional convolutional neural network) consists of two stages. The image is scanned in the first step, and suggestions are made for areas of the image that may contain objects. In the second

stage, these suggestions are evaluated and classified, the bounding box detection is improved, and segmentation masks are generated. Each stage depends on the backbone structure. The Mask R-CNN architecture structure used is given in Figure 2.

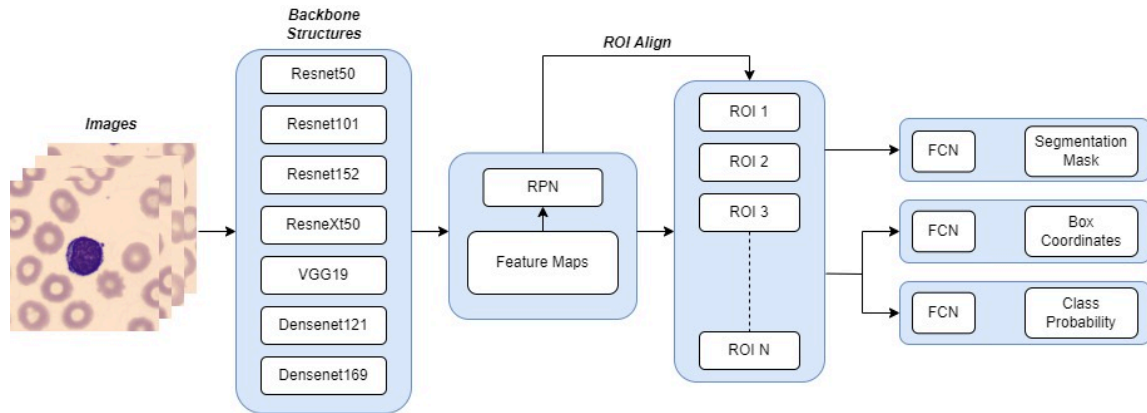


Figure 2. Mask R-CNN architectural structure

The backbone is a convolutional neural network and is used for feature extraction. The feature map is created by passing the image through the backbone structure. This feature map is given as the next layers input value.

2.3. Backbone architectures

ResNet50, ResNet101 and ResNet152 Model

ResNet architecture is a CNN (Convolutional Neural Network) architecture that has been proposed to solve deep and complex classification problems [18]. ResNet differs from traditional sequential network architectures in that it has a microarchitecture module structure [19]. This model [20], created by Microsoft team, was developed to eliminate the problem of gradient values converging to zero in multilayer deep networks. In the ResNet architecture, a bridge is established between the lower and upper layers by sequentially transferring the attribute information obtained from the lower layers to the upper layers [18]. ResNet architecture has evolved into different architectures such as ResNet50, ResNet101 and ResNet152 according to the number of layers used. Jumping between layers in ResNet is called ResBlock. Thanks to ResBlock, even if nothing is learned in the previous layer, the information from the old layer is applied to the new layer, making the model stronger.

The x layer is carried by the shortcut link to collect the input. Links that skip one or more layers are known as shortcut links. Thus, blocks and inputs now propagate faster over the connections between the layers.

Before using the shortcut link, it is multiplied by the weights of the input layer and added with a bias term. Then it goes through the activation function and the output($H(x)$) is obtained.

$$H(x) = f(wx + b) \text{ or } H(x) = f(x) \quad (1)$$

With the shortcut link;

$$H(x) = f(x) + x \quad (2)$$

the output changes as (2).

In the second approach, additional parameter is used. The new output we created by adding additional parameters is;

$$H(x) = f(x) + w1.x \quad (3)$$

the output be as (3).

VGG19 Model

This is a deep-learning model developed in 2014, which showed a very successful performance in the ImageNet 2014 competition with an error rate of 7.3%. This architecture, designed by Simonyan and Zisserman at Oxford University, revealed 6 different architectures. It consists of 11, 13, 16, 19 convolution layers in 6 different models [21]. Unlike the convolutions in previous deep learning architectures, 2x2 and 3x3 filters are applied here. This architecture includes a 3-step fully connected (FC FullConnected) layer. The last fully connected layer has 1000 neurons. In the last part of the network, there is the classification layer, the SoftMax layer. Among these models, VGG16 and VGG19 models are more common in the literature [22].

ResNeXt50 Model

ResNeXt was created by Xie et al. (2016). This architecture was developed based on ResNet architecture, which also uses the idea of residual blocks for maintaining information from previous layers. The main difference between ResNeXt and ResNet is instead of having continual blocks one after the other, 'cardinality', which is the size of transformations, was considered and implemented in the architecture, inspiring from Inception/GoogLeNet. Compared to ResNet, ResNeXt has fewer parameters but better performance in ImageNet Challenge [23].

DenseNet121 and DenseNet169 Model

During the training of neural networks, since convolution and down sampling are performed, the image feature decreases in feature maps and during transitions between layers. The DenseNet (Dense Convolutional Network) system is [24] developed for more effective use of image feature information. Thus, each layer provides information flow to all subsequent layers, and each layer can access the property information of the previous layers. The biggest advantage of DenseNet architecture is that it provides feature propagation and enables the reuse of the obtained features. This also reduces the number of parameters in the network. There are versions with different layers such as DenseNet-121, DenseNet-169 and DenseNet-201.

2.4. PBC (Peripheral Blood Cell) Dataset

The PBC dataset consists of a total of 17,092 normal cell images obtained using the CellaVision DM96 analyzer in the Core Laboratory at the Barcelona Hospital Clinic. The format of the images is jpg and the size is 360x363 pixels. All images were obtained in the color space RGB. Dataset were labeled by clinical pathologists at the Hospital Clinic [25]. Figure 3 shows examples of the eight types of normal peripheral blood cells (Basophil, Eosinophil, Erythroblast, Lymphocyte, Mmy, Monocyte, Neutrophil, Platelet) taken from the PBC dataset.

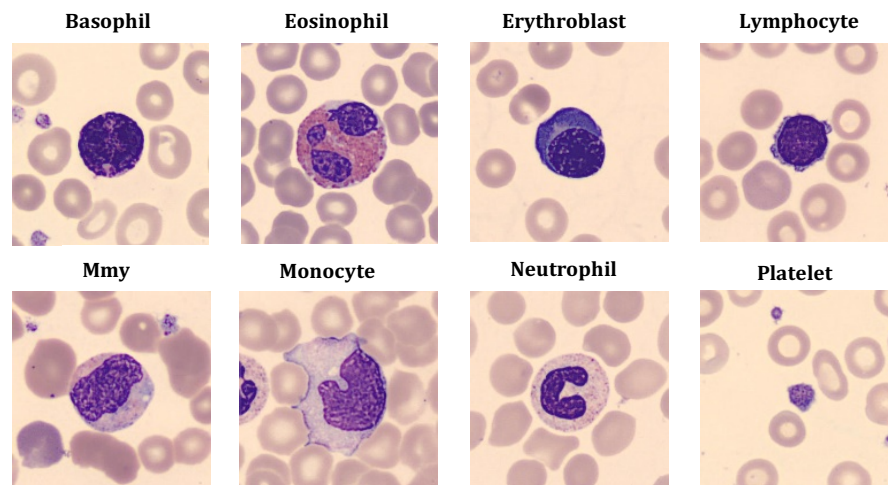


Figure 3. Sample cell images from the PBC dataset

As we told before, the PBC dataset consist of eight classes: neutrophils, eosinophils, basophils, lymphocytes, monocytes, immature granulocytes (promyelocytes, myelocytes, and metamyelocytes - Mmy in short), erythroblasts, and platelets. The cell informations (total number of images and percentages) of PBC dataset is given in Table 1. Images were obtained from individuals who did not have infection, hematological or oncological disease and did not receive any pharmacological treatment.

Table 1. Types and number of cells in each group

Cell Type	Total of Images by Type	%
Neutrophils	3329	19.48
Eosinophils	3117	18.24
Immature Granulocytes (Metamyelocytes, Myelocytes and Promyelocytes)	2895	16.94
Platelets (Thrombocytes)	2348	13.74
Erythroblasts	1551	9.07
Monocytes	1420	8.31
Basophils	1218	7.13
Lymphocytes	1214	7.10
Total	17,092	100

In order to use the dataset in the deep learning model, firstly, the labeling process was performed. The data labeling process was done with the MakeSense tool [26], which can be labeled online. The labeling process is important in terms of giving deep learning algorithms to the training set where it can distinguish the desired objects and train itself. After the dataset was separated as the training and validation set, the necessary labels were made for the images in the train and validation set (Figure 4). Eight classes in the dataset were added as labels. The cells in each image are marked as polygons and the class label they belong to is selected.

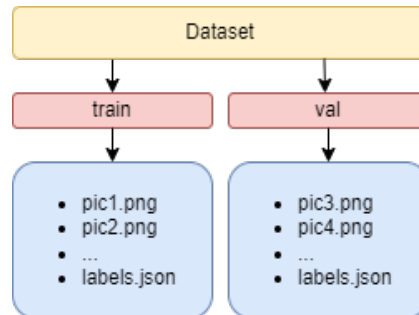


Figure 4. Dataset file structure

2.5. Performance Metrics

The segmentation performance of an object detection model is evaluated using measurement criteria such as IoU (Intersection over Union), Precision, Recall, Average Precision (AP) and mean Average Precision (mAP).

IoU: IoU is an evaluation metric used to measure similarity between Ground Truth and model prediction. The metric is calculated as given in equation (4).

$$IoU = \frac{\text{Area of Union}}{\text{Area of intersection}} \quad (4)$$

Average Precision (AP): AP is measurement metric that includes precision and recall metrics used to evaluate object detection performance. It is a number metric that summarizes the Precision-Recall curve by averaging the recall values from 0 to 1. The metric is calculated as given in equation (5).

$$AP = \frac{1}{11} \sum_{r \in (0,0.1,0.2,\dots,1)} P_{interp}(r) \quad (5)$$

mAP: The mAP value is obtained by summing the APs of each class and dividing by the number of classes. The metric is calculated as given in equation (6).

$$mAP = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M AP_j \quad (6)$$

Measurement metrics such as sensitivity, specificity, and accuracy are used to evaluate the performance of classification models. Data from the confusion matrix are expressed as TP, TN, FP ve FN to calculate evaluation metrics. TP is the number of correctly detected instances of the class. FN is the number of instances belonging to the class but detected as a different class. TN is the number of correctly identified instances that do not belong to the class. FP is the number of samples that do not belong to the class but are determined to belong.

Accuracy: Accuracy is calculated by dividing the correct predictions detected against all detected predictions. The metric is calculated as given in equation (7).

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

Precision: Precision is calculated by dividing the correctly predicted positive samples against all predicted positive samples. The metric is calculated as given in equation (8).

$$Precision = \frac{TP}{(TP+FP)} \quad (8)$$

Recall: Recall is obtained by dividing the correctly predicted positive samples to all samples in the real class. The metric is calculated as given in equation (9).

$$Recall = \frac{TP}{(TP+FN)} \quad (9)$$

F1-Score: F1-Score is calculated by taking the weighted average of Precision and Sensitivity. The metric is calculated as given in equation (10).

$$F1 - Score = \frac{Precision*Recall}{Precision+Recall} \quad (10)$$

Specificity: Specificity is a evaluation metric used to measure the proportion of true negatives predicted as negative. The metric is calculated as given in equation (11).

$$Specificity = \frac{TN}{(TN+FP)} \quad (11)$$

Total loss in the training process; change of general error in cell detection, loss of validation; reduction of the error in determining the zones where the objects are located, frame loss; variation of the error of the boxes delineating the zones in which the objects are located, loss of classification; classification error and masking loss on the training set; shows the change of masking error on the training set.

3. Experimental Results

Mask R-CNN is a state-of-the-art algorithm capable of accurately detecting and segmenting the target object. In this study, an improved Mask R-CNN structure was proposed, and this structure was used to segment and classify the blood cell data set. The Mask R-CNN architecture's results in cell detection in the PBC dataset with eight different classes were evaluated, and the results- findings were analysed.

To train the deep network, a large number of labelled images is required. As a result, each class in the PBC dataset is labelled in the image's cells. A total of 4000 images were used for the training set, including 300 images from each class, 100 for validation, and 100 for testing.

In this study, 4000 images from the PBC dataset were trained using the Mask R-CNN algorithm with 100 iterations in each step for a total of 240 iterations to determine the cells in the dataset image. To begin, the images in the data set were divided into three datasets: training, validation and test, and the cells in each image were labelled using the Makesense.ai image labelling tool. The coordinates of the cells in the training and validation sets were determined by drawing them polygonally. Furthermore,

the error rates can be observed according to iterations using the Tensorboard graphical interface in the Tensorflow library to determine the error rates at the end of the training. The study was trained using a 12 GB RAM GPU in the Google Colaboratory cloud service. In addition, the study was written in Python programming language, and at the same time Keras [27] and Tensorflow [28] libraries were used.

The primary goal of this study is to investigate the effect of using different backbone network architectures during training for cell segmentation in the dataset and how the measurement values change as a result. The backbones used in this study consist of ResNet50, ResNet101, ResNet152, ResNeXt50, VGG19, DenseNet121 and DenseNet169. Many studies in the literature have used ResNet, ResNeXt (a different version of ResNet network), VGG19 and DenseNet networks with positive results. At the same time, these deep networks were used in the ImageNet competition as they did well. ResNet and DenseNet architectures have been tried and evaluated for networks of varying depths to achieve the best results.

Table 2. Settings specified for the Mask R-CNN model

Hardware	Feature	Description
Backbone	ResNet50 vb.	Backbone network model
Gpu Count	2	Number of GPUs
Image min dim	512	Image minimum edge length
Image_max dim	512	Image maximum edge length
Train rois per image	100	Estimated number of regions to be extracted from each image
Max gt instances	50	Maximum number of regions that can be found in an image
Images per gpu	2	Number of images per GPU
Num classes	9	Number of classes (8 cell classes + 1 background)
Steps Per Epoch	100	Number of repetitions per round
Epoch Count	240	Number of tour
Threshold	0.75	Threshold of object detection considered successful

Table 2 shows the special settings, including the parameters used for the Mask R-CNN model in this study. These settings have been tested and determined to produce the best results in experimental studies. The success of the tests has confirmed that the optimal iteration number is 100 and the number of rounds is 240 for trials with dual GPUs. Simultaneously, various improvements for test reviews and training were made using the model developed on the open-source framework.

Table 3. Loss rates

Backbone	Total Loss	Validation Loss	Frame Loss	Classification Loss	Masking Loss
ResNet50	0.09887	0.1062	0.01586	0.01282	0.05166
ResNet101	0.08486	0.07841	0.01382	0.01157	0.04641
ResNet152	0.1480	0.2893	0.0273	0.0365	0.0491
ResNeXt50	0.2387	0.1041	0.0499	0.04812	0.08295
VGG19	0.2493	0.2989	0.02605	0.1076	0.06895
DenseNet169	0.3681	0.1986	0.08537	0.04326	0.1055
DenseNet121	0.4103	0.1994	0.0667	0.0167	0.1356

Within the scope of this study, the error variation of the loss functions that occur during the training phase with the use of different backbones in the Mask R-CNN based model proposed on the dataset, depending on the tour number, is presented in Appendix 1. The loss rates obtained according to different backbone structures are given in Table 3. Segmentation performance results obtained with the validation set are given in Table 4.

Table 4. Consequences of backbone architectures

Backbone	mAP (0.5)	mAP (0.7)	mAP (0.9)	mAP (0.95)	(0.5-0.95)	mAR	F1-Score (%)
ResNet50	0.8902	0.8877	0.8443	0.8340	0.932	0.9105	
ResNet101	0.9139	0.9089	0.8645	0.8505	0.953	0.9329	
ResNet152	0.7572	0.7535	0.6707	0.6848	0.871	0.8102	
ResNeXt50	0.6151	0.6107	0.4824	0.5429	0.784	0.6894	
VGG19	0.2481	0.2393	0.1518	0.2060	0.313	0.2768	
DenseNet169	0.4784	0.4596	0.3236	0.4057	0.624	0.5416	
DenseNet121	0.7688	0.7563	0.5741	0.6802	0.907	0.8323	

The dataset is trained using different backbones. The classification accuracy rates were evaluated using a test set of 100 images from each cell and a total of 800 images. The confusion matrix obtained for each spine is given in Appendix 2. Mask R-CNN structure achieved classification accuracy of 0.9898 with ResNet50 backbone, 0.9931 with ResNet101, 0.9688 with ResNet152, 0.9590 with ResNeXt50, 0.9580 with VGG19, 0.9638 with DenseNet121 and 0.9291 with DenseNet169. The performance metric results are given in the Table 5. The classification results according to the backbones used are given in Figure 5. The segmentation results of some cells on blood cell images are shown in the Appendix 3.

Table 5. Classification performance metrics

Backbone	Accuracy	Precision	Recall	F1-Score	Specificity
ResNet50	0.9898	0.9575	0.9600	0.9575	0.9942
ResNet101	0.9931	0.9725	0.9737	0.9687	0.9961
ResNet152	0.9688	0.8250	0.8937	0.8275	0.9823
ResNeXt50	0.9590	0.7500	0.7425	0.6562	0.9778
VGG19	0.9580	0.4600	0.4037	0.4300	0.5687
DenseNet169	0.9638	0.8500	0.8637	0.8475	0.9707
DenseNet121	0.9291	0.6155	0.7537	0.5968	0.9265

Table 6 draws bigger picture of the overall performances of the whole scenario in the study. As it is clear from the overall performance measurements, the proposed method achieved an accuracy of 99.31%.

Table 6. Overall performances of the whole scenario

Studies	Accuracy	Precision	Recall	Specificity
Proposed Study	0.9931	0.9725	0.9737	0.9961
[9]	0.9794	0.9794	0.9794	0.9971
[29]	0.9620	0.9700	0.9600	0.9680
[30]	0.9519	0.9232	0.9039	0.9525
[31]	0.9560	0.9840	0.9500	0.5687

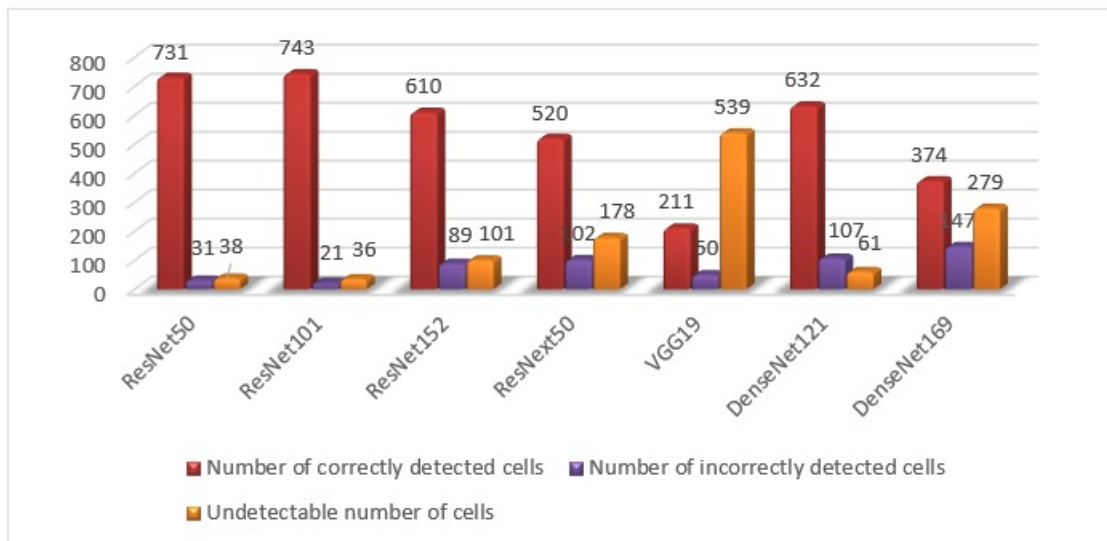


Figure 5. Backbone architectures classification results

4. Conclusion and Discussion

The Mask R-CNN algorithm was used in this study to detect blood cells using the PBC data set. The sample segmentation feature in the Mask R-CNN algorithm was used to determine the segmentation of blood cells obtained from images, and the error rates were minimized as a result of the tests. The study focused on the identification of eight classes, but it could be expanded to include more classes and used for a variety of purposes. Furthermore, better segmentation can be achieved by passing images

containing more blood cells or different cell structures obtained from various angles during the training process.

Many studies on blood cells using various methods have been proposed in the literature on the PBC open data set used in this study. However, comparing previous studies on computer-aided cell segmentation on blood cell images is rather hard as the data sets are not the same, the algorithms are diverse and dissimilar similarity measures are used. This study presented a structured deep-learning method for assisting experts in the interpretation of PBC dataset images. Simultaneously, the Mask R-CNN segmentation method was trained and evaluated using various backbone architectures. To extract feature maps from images, backbone architectures are used. As the backbone architecture, deep learning architectures ResNet50, ResNet101, ResNet152, ResNeXt50, VGG19, Densenet121 and Densenet169 were used. When the results of experimental studies using different backbone architectures are compared, it is clear that the segmentation results obtained using the ResNet101 backbone architecture of the Mask R-CNN method are relatively more successful. Although the metric results confirmed that very high segmentation performances were obtained on the data set, the segmentation of some cells on blood cell images is not at the expected level in tests performed with the proposed Mask R-CNN model.

Although the image segmentation results are reasonable, this and similar issues can have a variety of causes. Many factors can be considered, including the presence of noise in the related images, the intertwining of the textural colours of the non-segmented cell and other cells, the similarity of their structural features, and an insufficient number of rounds in the Mask R-CNN network's training to detect the cells in these images. When the segmented images are not successful, it can be seen that the cell overlaps with the cells around it, the characteristics of the cells such as structure, shape, texture and intracellular saturation are similar to other cells, the colour tones of the cell types are close to each other, the edges of the cells are not sharply defined, the cell nuclei are similar. In such cases, it was understood that the images could not be fully segmented. In some cases, cells were segmented but resulted in classification failure due to similarities in cell types.

The contribution of computer-assisted secondary tools to assist physicians in segmenting cells on digital images of blood cells has been growing in recent years. It is observed that the segmentations made manually by physicians contain too many time-consuming procedures that are prone to human error. Therefore, automatic segmentation of cells on blood cell images has noteworthy advantages in terms of both time and cost. In this study, a method including Mask R-CNN-based current technologies that can help physicians and specialists for blood cell segmentation is proposed. In the experimental studies on the PBC dataset, the proposed method was found to be quite successful in the segmentation of cells. In addition, the results of Mask R-CNN supported by the flexible parameter selection proposed for the region of interest, and the effectiveness and validity of the proposed method have been verified. The contributions of this study can be summarized as follows. (1) In this study, which is proposed for the segmentation of cells on blood cell images in the PBC data set, performance evaluation was made using different backbones and supported by the flexible parameter selection recommended for the region of interest, for ResNet101 in experimental studies conducted with Mask R-CNN model; segmentation performance metrics of mAP(0.5), mAP(0.7), mAP(0.9), mAP(0.5-0.95), mAR and F1-Score (%) were calculated as 0.91, 0.90, 0.86, 0.85, 0.95 and 0.93, respectively. (2) As a secondary tool, a computer-aided support system to assist physicians in segmenting blood cells is presented. In the future, it is planned to create a new dataset with microscopic images obtained from blood and urine at various resolutions, sizes, and scanners, and to achieve high detection performance in the studies to be performed on this dataset.

Thus, it is predicted that the studies can be used by experts as a tool in the recognition of blood cells. As a result, it has been demonstrated that appropriate deep-learning models can be used for blood cell segmentation and classification, as well as anomaly detection. In addition to the easy classification of blood cells using the model created with deep learning libraries, if a data set with a sufficient number of images is available, the recognition of cells in microscopic images of many blood cells other than eight blood cells can also be achieved. This allows the cells in the blood to be identified in less time. A data set can be created from microscopic images of blood and urine sediment for the detection of specific diseases and applied to deep learning networks for this purpose.

Conflict of Interest Statement

The authors declare that there is no conflict of interest.

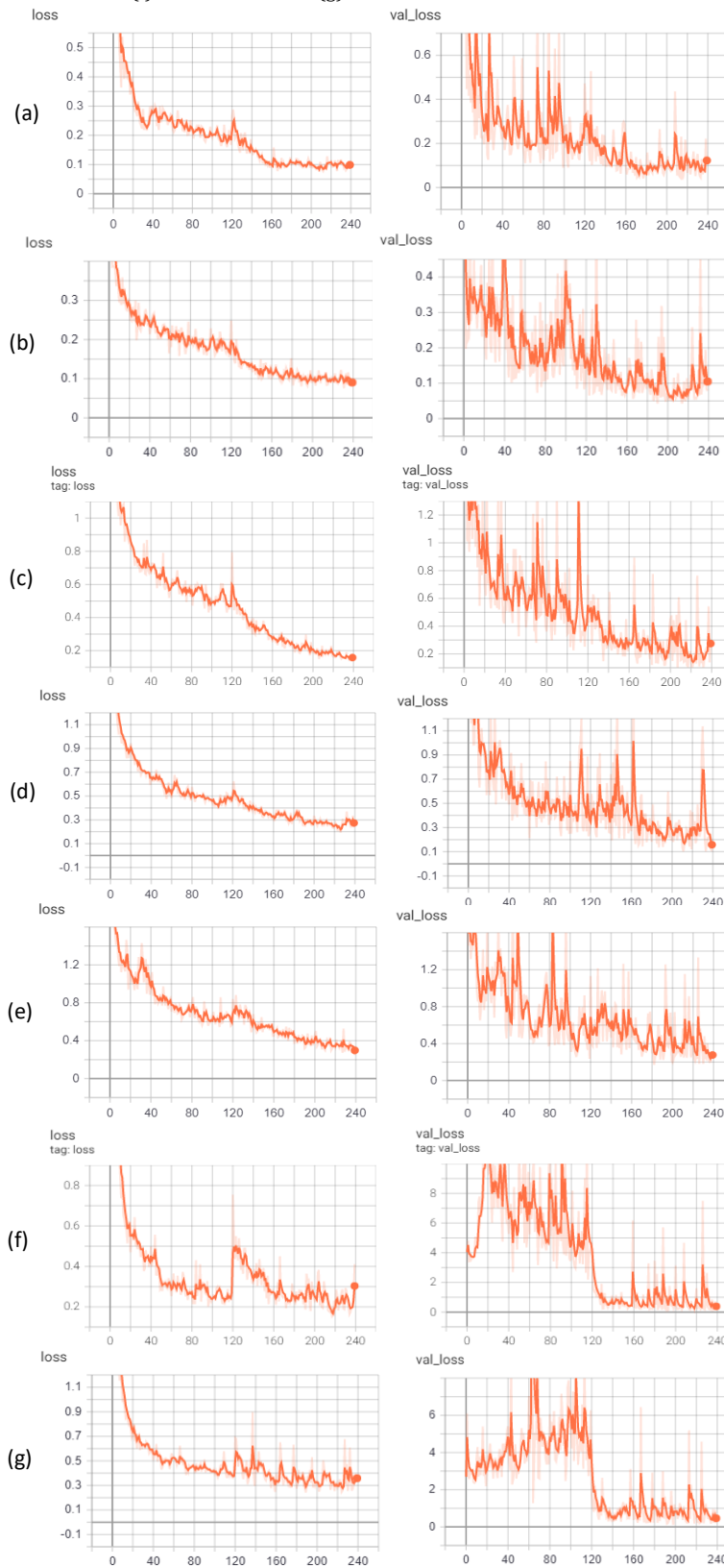
References

- [1] A. Purcell, *Basic Biology, Blood cells*, Basic Biology Limited, 2018.
- [2] R. Soltanzadeh and H. Rabbani, "Classification of three types of red blood cells in peripheral blood smear based on morphology," *IEEE 10th International conference on signal processing proceedings*, Beijing, China, pp. 707-710, 2010. doi:10.1109/ICOSP.2010.5655754
- [3] M. D. Joshi A. H. Karode and S. R. Suralkar, "White blood cells segmentation and classification to detect acute leukemia," in *International Journal of Emerging Trends & Technology in Computer Science (IJETTCS)*, vol. 2, no. 3, 2013, pp. 147-148.
- [4] M. Türkoğlu, "Otomatik Kan Hücrelerinin Tanınması ve Sınıflandırılmasında Değişmez Momentlere Dayalı Görüntü İşleme Yöntemlerinin Kullanılması," MS thesis, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 2013.
- [5] L. Putzu, G. Caocci and C. D. Ruberto, "Leucocyte classification for leukaemia detection using image processing techniques," *Artificial intelligence in medicine*, vol. 62, no. 3, pp. 179-91, 2014. doi:10.1016/j.artmed.2014.09.002
- [6] S. Manik, L. M. Saini and N. Vadera, "Counting and classification of white blood cell using Artificial Neural Network (ANN)," *2016 IEEE 1st International Conference on Power Electronics, Intelligent Control and Energy Systems (ICPEICES)*, Delhi, India, pp. 1-5, 2016. doi:10.1109/ICPEICES.2016.7853644
- [7] A. Karakuzulu, "Kan Hücrelerinin Görüntü İşleme Teknikleriyle Tespiti, Sayılması ve Sınıflandırılması," Master Thesis, Mersin Üniversitesi, Mersin, January 24, 2019.
- [8] A. Kh. S. Gihedan, "Görüntü İşleme Yöntemlerini Kullanarak Mikroskopik Görüntülerinden Lösemi hücrelerinin Teşhisi," Ph.D. dissertation, Kastamonu Üniversitesi, Kastamonu, 2019.
- [9] F. Ucar, "Deep Learning Approach to Cell Classification in Human Peripheral Blood," *2020 5th International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK)*, Diyarbakir, Turkey, pp. 383-387, 2020. doi:10.1109/UBMK50275.2020.9219480
- [10] E. Gavas and K. Olpadkar, "Deep CNNs for peripheral blood cell classification," *Proceedings of Machine Learning Research*, arXiv preprint arXiv:2110.09508, 2021. doi:10.48550/arXiv.2110.09508
- [11] F. Long, J. Peng, W. Song, X. Xia and J. Sang, "BloodCaps: A capsule network based model for the multiclassification of human peripheral blood cells," *Computer methods and programs in biomedicine*, vol. 202, 2021. doi:10.1016/j.cmpb.2021.105972
- [12] R. A. Bagido, M. Alzahrani and M. Arif, "White blood cell types classification using deep learning models," *International Journal of Computer Science & Network Security*, vol. 21, no. 9, pp. 223-229, 2021. doi:10.22937/IJCSNS.2021.21.9.30
- [13] F. Ş. Rende, G. Bütün and Ş. Karahan, "Derin Öğrenme Algoritmalarında Model Testleri: Derin Testler," in *Bilişim Teknolojileri Enstitüsü, TÜBİTAK BİLGEM*, Kocaeli, Turkey, 55, 2016.
- [14] M. Nielsen, *Neural networks and deep learning*, Vol. 25. San Francisco, CA, USA: Determination press, 2015.
- [15] W. Abdulla, "Splash of Color: Instance Segmentation with Mask R-CNN and TensorFlow," *engineering.matterport.com*, Matterport Engineering Techblog, Mar 20, 2018. [Online]. Available: <https://engineering.matterport.com>. [Accessed: 17.02.2023].
- [16] K. He, G. Dollar and R. Girshick, "Mask R-CNN," in *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*, pp. 2961-2969, 2017. [Online]. Available: ICCV 2017 open access, <https://openaccess.thecvf.com/>. [Accessed: 17 Feb. 2023].
- [17] S. Ren, K. He, R. Girshick and J. Sun, "Faster r-cnn: Towards real-time object detection with region proposal networks," *Advances in neural information processing systems*, vol. 28, pp. 91-99, 2015. doi:10.48550/arXiv.1506.01497
- [18] K. He, X. Zhang, S. Ren and J. Sun, "Deep Residual Learning for Image Recognition," *2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, Las Vegas, NV, USA, pp. 770-778, 2016. doi:10.1109/CVPR.2016.90
- [19] A.S. Almyrad, "Identification of butterfly species using machine learning and image processing techniques," Ph.D. dissertation, Karabük University, Karabük, Türkiye, 2020.
- [20] K. He, X. Zhang, S. Ren and J. Sun, "Deep residual learning for image recognition," *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2016, pp. 770-778. doi:10.48550/arXiv.1512.03385

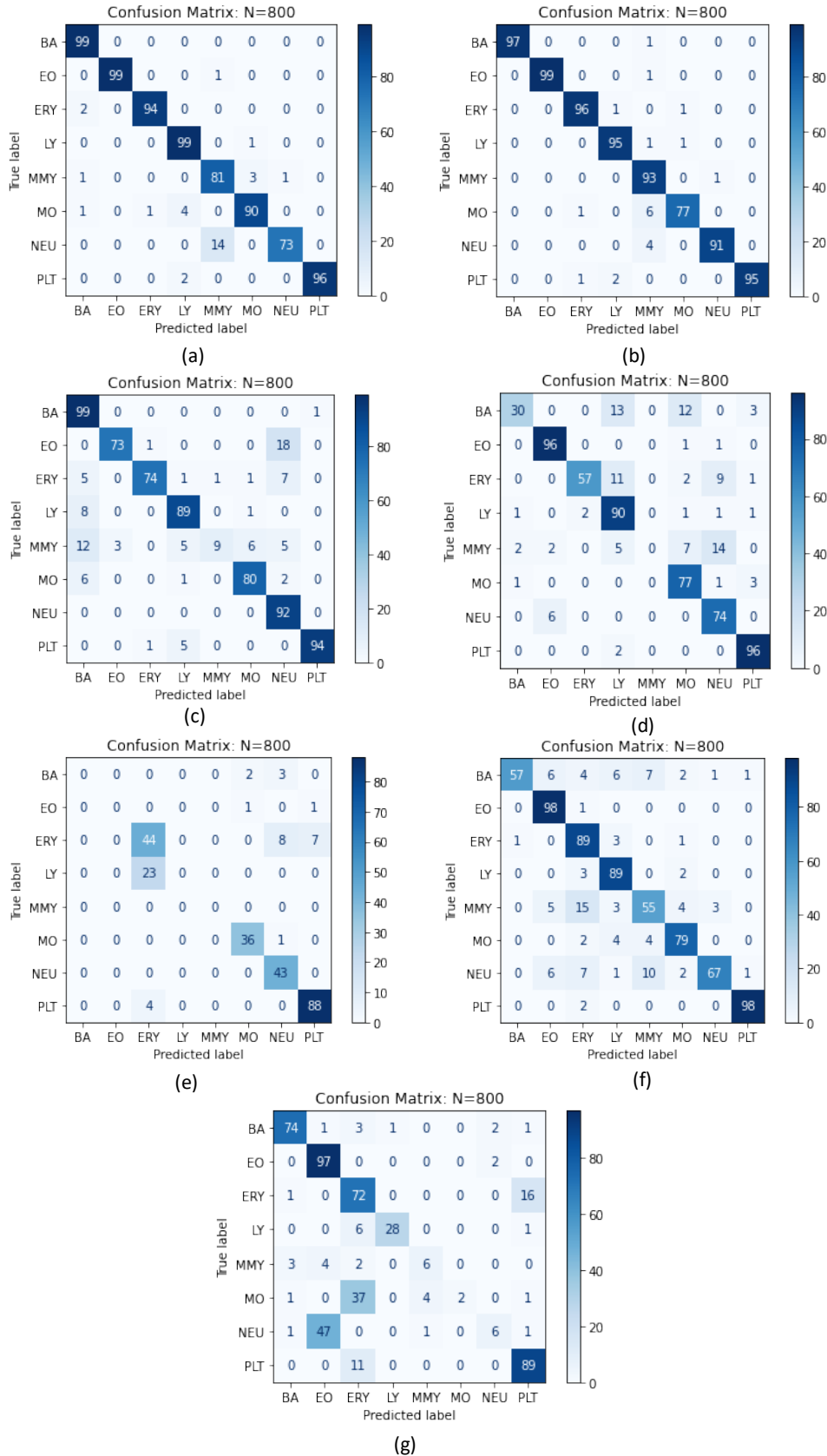
- [21] K. Simonyan, and A. Zisserman, "Very deep convolutional networks for large-scale image recognition," arXiv preprint arXiv:1409.1556, 2014. doi:10.48550/arXiv.1409.1556
- [22] F. Doğan and İ. Türkoğlu, "Derin Öğrenme Modelleri ve Uygulama Alanlarına İlişkin Bir Derleme," *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, vol. 10, no. 2, pp. 409 - 445, 2019. doi:10.24012/dumf.411130
- [23] S. Xie, R. Girshick, P. Dollar, Z. Tu and K. He, "Aggregated residual transformations for deep neural networks," *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2017, pp. 1492-1500. doi:10.48550/arXiv.1611.05431
- [24] G. Huang, Z. Liu, L. Van Der Maaten and K. Q. Weinberger "Densely connected convolutional networks," *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, pp. 4700-4708, 2017. doi:10.48550/arXiv.1608.06993
- [25] A. Acevedo, A. Merino, S. Alférez, Á. Molina, L. Boldúa, J. Rodellar, "A dataset of microscopic peripheral blood cell images for development of automatic recognition systems," *Data in brief* vol. 30 105474. 8 Apr., 2020. doi:10.1016/j.dib.2020.105474
- [26] P. Skalski, "Make Sense," 2019. [Online]. Available: <https://github.com/SkalskiP/make-sense/>. [Accessed: 20.05.2022].
- [27] A. Gulli, and S. Pal, *Deep learning with Keras*. Packt Publishing Ltd, 2017.
- [28] M. Abadi, A. Agarwal, P. Barham, E. Brevdo, Z. Chen, C. Citro, G. S. Corrado, A. Davis, J. Dean, M. Devin, S. Ghemawat, I. Goodfellow, A. Harp, G. Irving, M. Isard, Y. Jia, R. Jozefowicz, L. Kaiser, M. Kudlur, J. Levenberg, D. Mane, R. Monga, S. Moore, D. Murray, C. Olah, M. Schuster, J. Shlens, B. Steiner, I. Sutskever, K. Talwar, P. Tucker, V. Vanhoucke, V. Vasudevan, F. Viegas, O. Vinyals, P. Warden, M. Wattenberg, M. Wicke, Y. Yu and X. Zheng, "Tensorflow: Large-scale machine learning on heterogeneous distributed systems," *arXiv preprint arXiv:1603.04467*, 2016. doi:10.48550/arXiv.1603.04467
- [29] A. Acevedo, S. Alférez, A. Merino, L. Puigví and J. Rodellar, "Recognition of peripheral blood cell images using convolutional neural networks," *Computer methods and programs in biomedicine*, vol. 180, 2019. doi:10.1016/j.cmpb.2019.105020
- [30] P. P. Banik, R. Saha and K. -D. Kim, "Fused Convolutional Neural Network for White Blood Cell Image Classification," *2019 International Conference on Artificial Intelligence in Information and Communication (ICAIIIC)*, Okinawa, Japan, 2019, pp. 238-240. doi:10.1109/ICAIIIC.2019.8669049
- [31] C. D. Ruberto, A. Loddo and Lorenzo Putzu, "Detection of red and white blood cells from microscopic blood images using a region proposal approach." *Computers in biology and medicine*, vol. 116, 2020. doi:10.1016/j.combiomed.2019.103530

APPENDIX

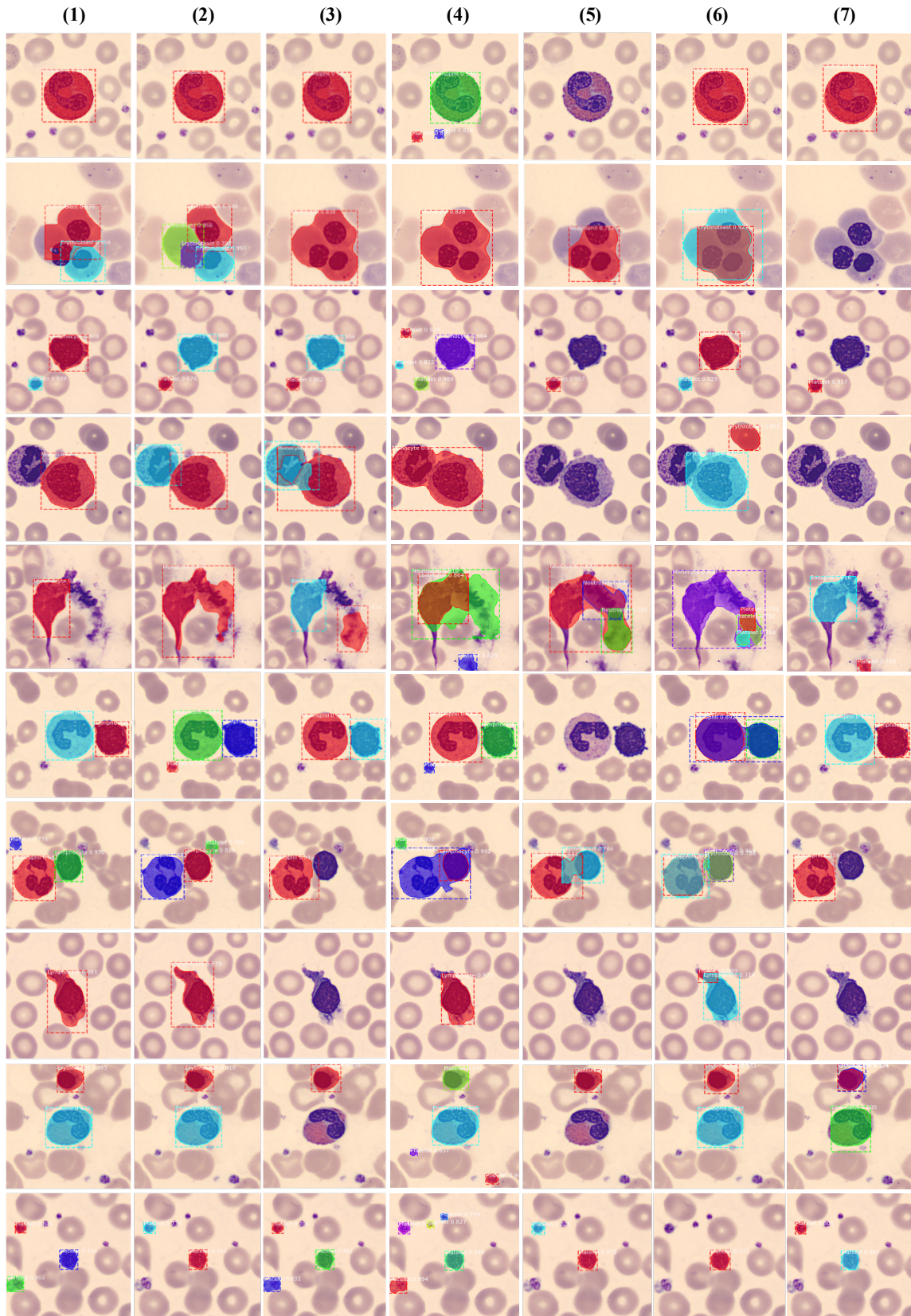
Appendix 1. Loss and validation loss graphics of ResNet50 (a), ResNet101 (b), ResNet152 (c), ResNeXt50 (d), VGG19 (e), DenseNet121 (f) and DenseNet169 (g)



Appendix 2. Confusion Matrix of ResNet50 (a), ResNet101 (b), ResNet152 (c), ResNeXt50 (d), VGG19 (e), DenseNet121 (f) and DenseNet169 (g) Model



Appendix 3. Cell samples detected with (1) ResNet50, (2) ResNet101, (3) ResNet152, (4) ResNeXt50, (5) VGG19, (6) DenseNet121, (7) DenseNet169 models



GAZİ

JOURNAL OF ENGINEERING SCIENCES

Overturning Analysis of Household Goods During Earthquake

M. Ali Kalaylı^a, Orhan Doğan^b, Hale Nurefsan Koç^c

Submitted: 14.01.2023 Revised: 16.03.2023 Accepted: 12.04.2023 doi:10.30855/gmbd.0705059

ABSTRACT

Keywords: Non-structural elements in buildings, overturning investigation in buildings, slender structures in overturning, overturning analysis of items

^{a,*} Kırıkkale University,
Faculty of Engineering and
Architecture, Department of Civil
Engineering 71450 - Kırıkkale, Türkiye
Orcid: 0000-0003-2776-4740
e mail: malikalayli006@gmail.com

^b Kırıkkale University,
Faculty of Engineering and
Architecture, Department of Civil
Engineering 71450 - Kırıkkale, Türkiye
Orcid: 0000-0002-4942-1725
e mail: odogan67@hotmail.com

^c Middle East Technical University,
Faculty of Engineering and
Architecture, Department of Civil
Engineering 06800 - Ankara, Türkiye
Orcid: 0000-0001-6431-0700
e mail: halenurefsan@hotmail.com

*Corresponding author:
mehalkal@hotmail.com.tr

Anahtar Kelimeler: Binalarda yapısal olmayan elemanlar, binalarda devrilme tahkiki, devrilmede narin yapılar, eşya devrilme analizi

In Türkiye, many destructive earthquakes have occurred on the seismic zones (North Anatolian-Eastern Anatolian fault lines) up to now. Due to the repetition of these earthquakes in certain periods, necessary structural repair and strengthening should be made. While structural damage up to the collapse of buildings may occur in an earthquake, economical losses, serious injuries and even deaths occur as a result of damage to non-structural elements in buildings which is still standing on. In this study, overturning analyzes of slender items such as refrigerators, bookshelves, wardrobes, which have a height/width (H/B) ratio greater than 2.00 and may be at risk against overturning, were carried out for 40 different situations, taking into account 8 different earthquake peak ground acceleration (PGA) levels in between 0,1g-0,8g and 5 different soil classes in our country. In addition, to prevent the overturning of items, a simple approach is presented in order to raise awareness in determining the number of anchors, depending on load carrying capacity of anchor type and size to be used and also the type of wall material to be anchored.

Depremde Ev Eşyalarının Devrilme Analizi

ÖZ

Ülkemizde geçmişten bugüne kadar deprem kuşakları (Kuzey Anadolu-Doğu Anadolu Fay hatları) üzerinde birçok yıkıcı deprem meydana gelmiştir. Bu depremlerin belli periyotlarda tekrar etmesinden dolayı gerekli yapısal onarım ve güçlendirme tedbirleri alınması gerekmektedir. Depremde binaların yıkılmasına kadar giden yapısal hasarlar meydana gelebilirken, yıkılmayan binalarda ise taşıyıcı olmayan elemanlardaki hasarlar sonucunda, eşyaların devrilmesi nedeniyle maddi kayıplar, ciddi yaralanmalar ve hatta ölümler meydana gelmektedir. Bu çalışmada, yükseklik/genişlik (H/B) oranı 2,00'den büyük olan ve devrilmeye karşı riskli olabilecek buzdolabı, kitaplık, gardırop gibi narin eşyaların ülkemizde meydana gelebilecek depremlere ait 0,1g-0,8g aralığındaki 8 farklı maksimum yer ivmesi ile 5 farklı zemin sınıfını dikkate alan 40 farklı durum için devrilme analizi yapılmıştır. Ayrıca, eşyaların devrilmemesi için, ankraj yapılacak duvar malzemesinin cinsine bağlı olarak, yapılması gereken ankraj tipine ve boyutlarına bağlı taşıma kapasitesi de dikkate alınarak ankraj adedini belirlemede farkındalık oluşturabilmek için basit bir yaklaşım sunulmuştur.

1. Giriş (Introduction)

Ülkemizde nüfusun tamamına yakını deprem bölgesinde yaşamaktadır ve depremler periyodik olarak devam etmektedir. Binalarda depreme bağlı hasarlar yapısal ve yapısal olmayan olmak üzere iki farklı şekilde meydana gelmektedir. Yapısal hasarlar büyük depremlerde taşıyıcı sistemde oluşurken, yapısal olmayan hasarların en küçük depremlerde bile olma ihtimali vardır. Çünkü, binalar bölgenin depremselliği ve zemin durumu dikkate alınarak her bölge için ayrı ayrı tasarlanırken, mimari olmayan elemanların tasarımında kullanılabilirlik ön planda tutulmaktadır. İnsanların bölgenin depremselliği ve binanın bulunduğu zemin durumunu bilmediğinden, depremde eşyaların devrilmemesi için nasıl ve ne kadar önlem alacağı konusunda bir açıklama bulunmadığından depremlerde, binalar hiç yapısal hasar görmese de bina içindeki çoğu eşya deprem etkisiyle devrilerek hasar görmektedir.

23.11.2022 tarihinde, Sarıdere-Gölyaka-Düzce (40.8175° K, 30.9868° D) merkez üssünde, yerel saat ile 04:08'de meydana gelen ve aletsel büyüklüğü $M_l=6.0$ ($M_w=6.0$) olan depremde [1], binalarda çok fazla yapısal hasarın meydana gelmediği, ancak evlerde bulunan eşyalarda maddi hasarların meydana geldiği [2] ve hatta eşyaların insanların üzerine düşerek insan canına zarar verdiği bilinmektedir. Örneğin, Şekil-1'de görüldüğü üzere, Düzce Üniversitesi Cahit Zarifoğlu KYK Erkek Yurdu'ndaki gardiropların devrilerek kaçış yollarını tıkadığı [3] görülmektedir.



Şekil 1. Düzce depreminde devrilen gardirop (Overturned cabinet in Düzce earthquake) [3]

Eşyaların devrilmesi ile ilgili olaylara dünya genelinde rastlanmaktadır. ABD'de 2015-2016 yılları arasında, dünyanın en büyük mobilya üreticisi olan IKEA mağazasının [4] ürettiği Malm serisi şifonyerin kolayca devrilmesi nedeniyle iki yaşından küçük üç çocuğun ölümüyle sonuçlanan kaza sonrası, mobilya firmasının 50 milyon dolar tazminat ödemiş; mağazanın sattığı 29 milyon eşyanın mağaza tarafından geri toplatılmış ve bu olaydan sonra mobilyaların sabitlenmesi için kullanılacak aparatlar ücretsiz verilmeye başlanmıştır.



Şekil 2. Şifonyerin devrilme şekli (Dresser overturn mechanism) [4]

Bu çalışmada eşyaların devrilmemesi için eşyanın sabitlenmesinde kullanılacak dübelin çapı ve adedi; eşyanın yükseklik/genişlik (H/B) oranına ve ağırlığına, binanın oturduğu zemin sınıfına, deprem bölgesindeki PGA'sına ve eşyanın sabitleneceği duvar malzemesinin cinsine göre belirlenmeye çalışılmıştır.

Literatürde konu ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde, Büyükkaragöz ve Cantürk [5], sanayi yapılarındaki yapısal olmayan raf, cephe kaplama, yakıt tankı vb. elemanların deprem etkisi altındaki davranışını incelemiş ve bu elemanlarda deprem etkisinde oluşabilecek risklerden ve alınabilecek tedbirlerden bahsetmiştir. Alıcı [6], yapısal olmayan faktörlerden kaynaklı riskler ile deprem ve mobilya ilişkisini araştırmış ve deprem unsurunu dikkate alarak mobilya tasarım önerileri sunmuştur. Beşir ve Dereci [7], konutlarda bulunan yapısal olmayan elemanlardan duvar, tavan, pencere, aydınlatma elemanları ile mobilya ve ekipmanların oluşturabileceği risk ve hasarları tanımlayarak her bir elemana bağlı olarak değişkenlik gösteren önlemleri belirlemeye çalışmıştır.

Kalaycıoğlu ve diğ. [8], mobilyalarda uygulanacak standartlar hakkında yaptıkları çalışmada mobilyaların devrilmemesi için alınması gereken önlemleri belirlemiştir. Deprem faktörünün mobilya kullanımı üzerine etkisini araştıran Ulay ve diğ. [9], 2011 yılında Van depremini yaşayan Van ili TOKİ konutları sakinleri ile yapmış olduğu araştırmada, iç mekânlardaki mobilya kullanım tercihleri ve alınan tedbirleri incelemiş ve depremden sonra insanların evlerinde aldığı tedbirlerin yeterli düzeyde olmadığını görerek, insanların depreme karşı evlerinde aldığı önlemlerin arasında, mobilyaların sabitlenmesi, hafif malzeme kullanımı, mobilya ölçülerinde ve yerleşiminde, resim, tablo ve çerçeve gibi elemanlarda değişiklik yaparak önlem almaya çalıştığını görmüştür. Ayrıca, yapısal olmayan elemanlarla ilgili yapılan çalışmalar sınırlı sayıda olup [10-16], yapısal olmayan bina elemanlarının sismik hesabı ve yer değiştirmelerin sınırlandırılmasına ilişkin 2018 TDBY Bölüm-6 [17] kapsamında değerlendirmeye alınsa da eşya H/B oranına göre devrilme analizi ve eşyaların sabitlenme şekillerinin hangi malzeme türüne nasıl ve ne şekilde sabitleneceği ile ilgili bir hususa ayrıntılı olarak değinilmemiştir. Ek olarak, ev eşyalarının deprem etkisine, zemin cinsine, eşya H/B'sine ve deprem maksimum yer ivmesi (PGA)'sine bağlı olarak depremde devrilme analizine konu olan bir çalışmaya da rastlanılmamıştır.

2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Bu çalışmada öncelikle illerin en yüksek PGA değerleri Türkiye Deprem Tehlikeleri Haritası'ndan [18] alınarak Tablo-1 oluşturulmuştur. Tablo-1'den de anlaşılacağı üzere Ülkemiz nüfusunun büyük bölümünün riskli deprem fay hatlarına yakın yerlerde yaşadığı anlaşılmaktadır.

Tablo 1. İllere göre en yüksek PGA değerleri (g cinsinden) (The highest PGA values of cities) [18]

İL	PGA	İL	PGA	İL	PGA	İL	PGA	İL	PGA	İL	PGA
Karaman	0.1	Edirne	0.3	Ağrı	0.4	Afyon	0.5	Çanakkale	0.6	Tekirdağ	0.7
Mardin	0.1	Giresun	0.3	Antalya	0.4	Burdur	0.5	Denizli	0.6	Tunceli	0.7
Neşehir	0.1	Gümüşhane	0.3	Ardahan	0.4	Bursa	0.5	Düzce	0.6	Bingöl	0.8
Aksaray	0.1	Iğdır	0.3	Batman	0.4	Çorum	0.5	Erzurum	0.6	Erzincan	0.8
Kırkkale	0.2	Kayseri	0.3	Bilecik	0.4	Diyarbakır	0.5	Hatay	0.6	Muş	0.8
Kırşehir	0.2	Kırklareli	0.3	Bitlis	0.4	Hakkari	0.5	Karabük	0.6	Tokat	0.8
Mersin	0.2	Ordu	0.3	Çankırı	0.4	İstanbul	0.5	Maraş	0.6		
Niğde	0.2	Osmaniye	0.3	Eskişehir	0.4	İzmir	0.5	Yalova	0.6		
Şanlıurfa	0.2	Rize	0.3	Gaziantep	0.4	Manisa	0.5	Amasya	0.7		
Trabzon	0.2	Samsun	0.3	Isparta	0.4	Muğla	0.5	Bolu	0.7		
Adana	0.3	Siirt	0.3	Kars	0.4	Uşak	0.5	Elazığ	0.7		
Ankara	0.3	Sinop	0.3	Kilis	0.4	Van	0.5	Kastamonu	0.7		
Artvin	0.3	Sivas	0.3	Konya	0.4	Adıyaman	0.6	Kocaeli	0.7		
Bartın	0.3	Yozgat	0.3	Kütahya	0.4	Aydın	0.6	Malatya	0.7		
Bayburt	0.3	Zonguldak	0.3	Şırnak	0.4	Balıkesir	0.6	Sakarya	0.7		

Şekil 3'te görüldüğü üzere, depremde eşya üzerine gelen etki sonucunda direnen ve deviren kuvvetler meydana gelmektedir. Burada depremde eşyayı devirmeye çalışan yatay deprem kuvvetine karşı direnen kendi ağırlığına (W) ek olarak, eşyanın üstünden yapılacak ankraj kuvvetinin (F_{ankraj}) oluşturacağı direnç kuvveti ile eşyanın stabilitesi sağlanmak istenmektedir. Direnen momentlerin (M_{direnen}) toplamı Bağntı 1 ile hesaplanmıştır.

$$M_{\text{direnen}} = (W \cdot B/2) + (F_{\text{ankraj}} \cdot H) \quad (1)$$

En olumsuz koşullar göz önünde bulundurularak, güvenli tarafta kalmak adına, taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R=1.00$, yapı önem katsayısı $I=1.00$ ve en olumsuz bina periyodu dikkate alınarak, kısa periyot harita spektral ivme katsayısı (S_{DS}) ve kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı (F_s) için, depremde eşyanın devrilmesine sebep olan yatay deprem kuvveti (F_{deprem}), $F_{\text{deprem}}=W \cdot S_{DS}$ denklemiyle belirlenmiş ve devrilme momenti (M_{deviren}) Bağntı-2 ile hesaplanmıştır.

$$M_{deviren} = W \cdot H \cdot SDS \quad (2)$$

Depremde eşyaların denge durumunda kalabilmesi için belirlenen sınır değer, denge limiti durumundaki Bağını 3 ile ifade edilmektedir.

$$M_{direnen} / M_{deviren} = 1.00 \quad (3)$$

Eşyaların devrilmemesi için seçilen güvenlik limiti ise, Bağını 4 ile temsil edilmekte ve düşey deprem etkisi, depremin tekrarlı dinamik etkileri ve yer değiştirmelerin sınırlandırılması da göz önüne alınarak güvenlik sayısı 1,50 alınmıştır.

$$M_{direnen} / M_{deviren} = 1.50 \quad (4)$$

Çalışmaya esas teşkil eden eşyalar olarak, her evde bulunan ve devrilme ihtimali yüksek olan buzdolabı, gardırop ve kitaplık seçilmiştir. Bu eşyaların boyutları standart olmadığından dolayı olabilecek eşya boyutları arasından en büyük H/B oranları seçilmiştir. Tablo-2'de buzdolabına, Tablo-3'te gardıroba, Tablo-4'te de kitaplığa ait boyut ve ağırlıklara ek olarak, zemin sınıfı ve deprem PGA'larına göre depremin S_{ps} 'si, deviren ve direnen momentler, denge limiti olan 1,00 ve devrilmeye karşı güvenlik limiti 1,50 için eşyaların sabitlenmesi için gerekli ankraj kuvvetleri ayrı ayrı verilmiştir

Tablo 2. Buzdolabı için devrilme hesabı (Refrigerator overturning calculation)

BUZDOLABI	Zemin Sınıfı	H (m)	B (m)	H/B	L (m)	m (kg)	S_{ps}	$M_{direnen}$ (kg.m)	$M_{deviren}$ (kg.m)	Limit Durumu (L.D.)	Güvenlik Sayısı (G.S.)	L.D.=1.00 için F_{ank} (kg)	G.S.=1.50 için F_{ank} (kg)
PGA=0.8g	ZA	2.13	0.76	2.8	1	200	1.586	76	337.82	1	1.5	122.92	202.22
	ZB	2.13	0.76	2.8	1	200	1.785	76	380.21	1	1.5	142.82	232.07
	ZC	2.13	0.76	2.8	1	200	2.380	76	506.94	1	1.5	202.32	321.32
	ZD	2.13	0.76	2.8	1	200	1.983	76	422.38	1	1.5	162.62	261.77
	ZE	2.13	0.76	2.8	1	200	1.586	76	337.82	1	1.5	122.92	202.22
PGA=0.7g	ZA	2.13	0.76	2.8	1	200	1.382	76	294.37	1	1.5	102.52	171.62
	ZB	2.13	0.76	2.8	1	200	1.554	76	331.00	1	1.5	119.72	197.42
	ZC	2.13	0.76	2.8	1	200	2.072	76	441.34	1	1.5	171.52	275.12
	ZD	2.13	0.76	2.8	1	200	1.727	76	367.85	1	1.5	137.02	223.37
	ZE	2.13	0.76	2.8	1	200	1.382	76	294.37	1	1.5	102.52	171.62
PGA=0.6g	ZA	2.13	0.76	2.8	1	200	1.170	76	249.21	1	1.5	81.32	139.82
	ZB	2.13	0.76	2.8	1	200	1.317	76	280.52	1	1.5	96.02	161.87
	ZC	2.13	0.76	2.8	1	200	1.756	76	374.03	1	1.5	139.92	227.72
	ZD	2.13	0.76	2.8	1	200	1.463	76	311.62	1	1.5	110.62	183.77
	ZE	2.13	0.76	2.8	1	200	1.192	76	253.90	1	1.5	83.52	143.12
PGA=0.5g	ZA	2.13	0.76	2.8	1	200	0.953	76	202.99	1	1.5	59.62	107.27
	ZB	2.13	0.76	2.8	1	200	1.072	76	228.34	1	1.5	71.52	125.12
	ZC	2.13	0.76	2.8	1	200	1.429	76	304.38	1	1.5	107.22	178.67
	ZD	2.13	0.76	2.8	1	200	1.219	76	259.65	1	1.5	86.22	147.17
	ZE	2.13	0.76	2.8	1	200	1.128	76	240.26	1	1.5	77.12	133.52
PGA=0.4g	ZA	2.13	0.76	2.8	1	200	0.768	76	163.58	1	1.5	41.12	79.52
	ZB	2.13	0.76	2.8	1	200	0.864	76	184.03	1	1.5	50.72	93.92
	ZC	2.13	0.76	2.8	1	200	1.152	76	245.38	1	1.5	79.52	137.12
	ZD	2.13	0.76	2.8	1	200	1.071	76	228.12	1	1.5	71.42	124.97
	ZE	2.13	0.76	2.8	1	200	1.087	76	231.53	1	1.5	73.02	127.37
PGA=0.3g	ZA	2.13	0.76	2.8	1	200	0.530	76	112.89	1	1.5	17.32	43.82
	ZB	2.13	0.76	2.8	1	200	0.596	76	126.95	1	1.5	23.92	53.72
	ZC	2.13	0.76	2.8	1	200	0.818	76	174.23	1	1.5	46.12	87.02
	ZD	2.13	0.76	2.8	1	200	0.841	76	179.13	1	1.5	48.42	90.47
	ZE	2.13	0.76	2.8	1	200	0.954	76	203.20	1	1.5	59.72	107.42
PGA=0.2g	ZA	2.13	0.76	2.8	1	200	0.377	76	80.30	1	1.5	2.02	20.87
	ZB	2.13	0.76	2.8	1	200	0.424	76	90.31	1	1.5	6.72	27.92
	ZC	2.13	0.76	2.8	1	200	0.612	76	130.36	1	1.5	25.52	56.12
	ZD	2.13	0.76	2.8	1	200	0.670	76	142.71	1	1.5	31.32	64.82
	ZE	2.13	0.76	2.8	1	200	0.839	76	178.71	1	1.5	48.22	90.17
PGA=0.1g	ZA	2.13	0.76	2.8	1	200	0.185	76	39.41	1	1.5	-17.18	-7.93
	ZB	2.13	0.76	2.8	1	200	0.208	76	44.30	1	1.5	-14.88	-4.48
	ZC	2.13	0.76	2.8	1	200	0.300	76	63.90	1	1.5	-5.68	9.32
	ZD	2.13	0.76	2.8	1	200	0.370	76	78.81	1	1.5	1.32	19.82
	ZE	2.13	0.76	2.8	1	200	0.554	76	118.00	1	1.5	19.72	47.42

Tablo 3. Gardırop için yapılan ankraj hesabı (Anchor calculation for cabinet)

GARDIROP	Zemin Sınıfı	H (m)	B (m)	H/B	L (m)	m (kg)	S _{DS}	M _n direne (kg.m)	M _{deviren} (kg.m)	Limit Durumu (L.D.)	Güvenlik Sayısı (G.S.)	L.D.=1.0 0 için F _{ank.} (kg)	G.S.=1.5 0 için F _{ank.} (kg)
PGA=0.8 g	ZA	2.3	0.55	4.2	1	400	1.586	110	729.56	1	1.5	269.37	427.97
	ZB	2.3	0.55	4.2	1	400	1.785	110	821.1	1	1.5	309.17	487.67
	ZC	2.3	0.55	4.2	1	400	2.380	110	1094.8	1	1.5	428.17	666.17
	ZD	2.3	0.55	4.2	1	400	1.983	110	912.18	1	1.5	348.77	547.07
	ZE	2.3	0.55	4.2	1	400	1.586	110	729.56	1	1.5	269.37	427.97
PGA=0.7 g	ZA	2.3	0.55	4.2	1	400	1.382	110	635.72	1	1.5	228.57	366.77
	ZB	2.3	0.55	4.2	1	400	1.554	110	714.84	1	1.5	262.97	418.37
	ZC	2.3	0.55	4.2	1	400	2.072	110	953.12	1	1.5	366.57	573.77
	ZD	2.3	0.55	4.2	1	400	1.727	110	794.42	1	1.5	297.57	470.27
	ZE	2.3	0.55	4.2	1	400	1.382	110	635.72	1	1.5	228.57	366.77
PGA=0.6 g	ZA	2.3	0.55	4.2	1	400	1.170	110	538.2	1	1.5	186.17	303.17
	ZB	2.3	0.55	4.2	1	400	1.317	110	605.82	1	1.5	215.57	347.27
	ZC	2.3	0.55	4.2	1	400	1.756	110	807.76	1	1.5	303.37	478.97
	ZD	2.3	0.55	4.2	1	400	1.463	110	672.98	1	1.5	244.77	391.07
	ZE	2.3	0.55	4.2	1	400	1.192	110	548.32	1	1.5	190.57	309.77
PGA=0.5 g	ZA	2.3	0.55	4.2	1	400	0.953	110	438.38	1	1.5	142.77	238.07
	ZB	2.3	0.55	4.2	1	400	1.072	110	493.12	1	1.5	166.57	273.77
	ZC	2.3	0.55	4.2	1	400	1.429	110	657.34	1	1.5	237.97	380.87
	ZD	2.3	0.55	4.2	1	400	1.219	110	560.74	1	1.5	195.97	317.87
	ZE	2.3	0.55	4.2	1	400	1.128	110	518.88	1	1.5	177.77	290.57
PGA=0.4 g	ZA	2.3	0.55	4.2	1	400	0.768	110	353.28	1	1.5	105.77	182.57
	ZB	2.3	0.55	4.2	1	400	0.864	110	397.44	1	1.5	124.97	211.37
	ZC	2.3	0.55	4.2	1	400	1.152	110	529.92	1	1.5	182.57	297.77
	ZD	2.3	0.55	4.2	1	400	1.071	110	492.66	1	1.5	166.37	273.47
	ZE	2.3	0.55	4.2	1	400	1.087	110	500.02	1	1.5	169.57	278.27
PGA=0.3 g	ZA	2.3	0.55	4.2	1	400	0.530	110	243.8	1	1.5	58.174	111.17
	ZB	2.3	0.55	4.2	1	400	0.596	110	274.16	1	1.5	71.374	130.97
	ZC	2.3	0.55	4.2	1	400	0.818	110	376.28	1	1.5	115.77	197.57
	ZD	2.3	0.55	4.2	1	400	0.841	110	386.86	1	1.5	120.37	204.47
	ZE	2.3	0.55	4.2	1	400	0.954	110	438.84	1	1.5	142.97	238.37
PGA=0.2 g	ZA	2.3	0.55	4.2	1	400	0.377	110	173.42	1	1.5	27.574	65.27
	ZB	2.3	0.55	4.2	1	400	0.424	110	195.04	1	1.5	36.974	79.37
	ZC	2.3	0.55	4.2	1	400	0.612	110	281.52	1	1.5	74.574	135.77
	ZD	2.3	0.55	4.2	1	400	0.670	110	308.2	1	1.5	86.174	153.17
	ZE	2.3	0.55	4.2	1	400	0.839	110	385.94	1	1.5	119.97	203.87
PGA=0.1 g	ZA	2.3	0.55	4.2	1	400	0.185	110	85.1	1	1.5	-	10.826
	ZB	2.3	0.55	4.2	1	400	0.208	110	95.68	1	1.5	-	14.57
	ZC	2.3	0.55	4.2	1	400	0.300	110	138	1	1.5	6.2261	42.17
	ZD	2.3	0.55	4.2	1	400	0.370	110	170.2	1	1.5	12.174	63.17
	ZE	2.3	0.55	4.2	1	400	0.554	110	254.84	1	1.5	26.174	118.37

Tablo 4. Kitaplık için yapılan ankraj hesabı (Anchor calculation for bookcase)

KİTAPLIK	Zemin Sınıfı	H (m)	B (m)	H/B	L (m)	m (kg)	S _{ds}	M _{direnen} (kg.m)	M _{deviren} (kg.m)	Limit Durumu (L.D.)	Güvenlik Sayısı (G.S.)	L.D.=1.00 için F _{ank} (kg)	G.S.=1.50 için F _{ank} (kg)
PGA=0.8g	ZA	2	0.3	6.7	1	300	1.586	45	475.8	1	1.5	215.4	334.35
	ZB	2	0.3	6.7	1	300	1.785	45	535.5	1	1.5	245.25	379.13
	ZC	2	0.3	6.7	1	300	2.380	45	714	1	1.5	334.5	513.00
	ZD	2	0.3	6.7	1	300	1.983	45	594.9	1	1.5	274.95	423.68
	ZE	2	0.3	6.7	1	300	1.586	45	475.8	1	1.5	215.4	334.35
PGA=0.7g	ZA	2	0.3	6.7	1	300	1.382	45	414.6	1	1.5	184.8	288.45
	ZB	2	0.3	6.7	1	300	1.554	45	466.2	1	1.5	210.6	327.15
	ZC	2	0.3	6.7	1	300	2.072	45	621.6	1	1.5	288.3	443.70
	ZD	2	0.3	6.7	1	300	1.727	45	518.1	1	1.5	236.55	366.08
	ZE	2	0.3	6.7	1	300	1.382	45	414.6	1	1.5	184.8	288.45
PGA=0.6g	ZA	2	0.3	6.7	1	300	1.170	45	351	1	1.5	153	240.75
	ZB	2	0.3	6.7	1	300	1.317	45	395.1	1	1.5	175.05	273.83
	ZC	2	0.3	6.7	1	300	1.756	45	526.8	1	1.5	240.9	372.60
	ZD	2	0.3	6.7	1	300	1.463	45	438.9	1	1.5	196.95	306.68
	ZE	2	0.3	6.7	1	300	1.192	45	357.6	1	1.5	156.3	245.70
PGA=0.5g	ZA	2	0.3	6.7	1	300	0.953	45	285.9	1	1.5	120.45	191.93
	ZB	2	0.3	6.7	1	300	1.072	45	321.6	1	1.5	138.3	219.70
	ZC	2	0.3	6.7	1	300	1.429	45	428.7	1	1.5	191.85	299.03
	ZD	2	0.3	6.7	1	300	1.219	45	365.7	1	1.5	160.35	251.78
	ZE	2	0.3	6.7	1	300	1.128	45	338.4	1	1.5	146.7	231.30
PGA=0.4g	ZA	2	0.3	6.7	1	300	0.768	45	230.4	1	1.5	92.7	150.30
	ZB	2	0.3	6.7	1	300	0.864	45	259.2	1	1.5	107.1	171.90
	ZC	2	0.3	6.7	1	300	1.152	45	345.6	1	1.5	150.3	236.70
	ZD	2	0.3	6.7	1	300	1.071	45	321.3	1	1.5	138.15	218.48
	ZE	2	0.3	6.7	1	300	1.087	45	326.1	1	1.5	140.55	222.08
PGA=0.3g	ZA	2	0.3	6.7	1	300	0.530	45	159	1	1.5	57	96.75
	ZB	2	0.3	6.7	1	300	0.596	45	178.8	1	1.5	66.9	111.60
	ZC	2	0.3	6.7	1	300	0.818	45	245.4	1	1.5	100.2	161.55
	ZD	2	0.3	6.7	1	300	0.841	45	252.3	1	1.5	103.65	166.73
	ZE	2	0.3	6.7	1	300	0.954	45	286.2	1	1.5	120.6	192.15
PGA=0.2g	ZA	2	0.3	6.7	1	300	0.377	45	113.1	1	1.5	34.05	62.33
	ZB	2	0.3	6.7	1	300	0.424	45	127.2	1	1.5	41.1	72.90
	ZC	2	0.3	6.7	1	300	0.612	45	183.6	1	1.5	69.3	115.20
	ZD	2	0.3	6.7	1	300	0.670	45	201	1	1.5	78	128.25
	ZE	2	0.3	6.7	1	300	0.839	45	251.7	1	1.5	103.35	166.28
PGA=0.1g	ZA	2	0.3	6.7	1	300	0.185	45	55.5	1	1.5	5.25	19.13
	ZB	2	0.3	6.7	1	300	0.208	45	62.4	1	1.5	8.7	24.30
	ZC	2	0.3	6.7	1	300	0.300	45	90	1	1.5	22.5	45.00
	ZD	2	0.3	6.7	1	300	0.370	45	111	1	1.5	33	60.75
	ZE	2	0.3	6.7	1	300	0.554	45	166.2	1	1.5	60.6	102.15

Tablo 2, 3 ve 4'ten de anlaşılacağı üzere deprem maksimum yer ivmelerine (PGA) ve zemin sınıflarına göre eşyaların sabitlenmesi için gereken ankraj kuvveti, denge limit değeri olan 1,00 için Bağıntı-5 ile gösterilmiştir.

$$F_{ankraj} / H = (M_{deviren} - M_{direnen}) \quad (5)$$

Eşyaların devrilmemesi için gereken ankraj kuvveti, güvenlik sınır değeri olan 1,50 için Bağıntı-6 ile gösterilmiştir.


$$F_{ankraj} / H = (1.50M_{deviren} - M_{direnen}) \quad (6)$$

Bu çalışma kapsamında eşyalar, dübel yardımıyla yapı elemanlarına sabitlenmektedir. Tablo 5 ve 6'da Fischer firmasına ait [19] iki farklı dübel çeşidinin farklı yapı elemanlarında taşıyabileceği maksimum ankraj kuvvetleri yer almaktadır. Dübel taşıma kapasitesi, eşyaların sabitleneceği malzemenin çeşidine göre farklılık göstermektedir. Ankraj adedi, sabitlemenin yapılacağı yapı malzemesi ve seçilen dübelin boyutuna göre değişmektedir. Dübel ebadı seçildikten sonra dübel sayısı Bağıntı-7 ile hesaplanabilmektedir.

$$n_{dübel} = F_{ankraj} / F_{dübel} \quad (7)$$

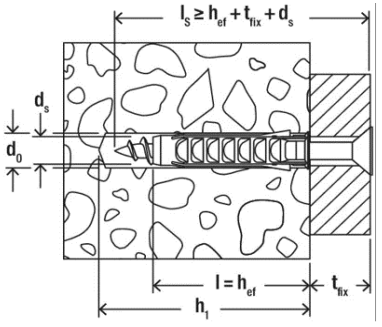
Tablo 3 ve 4'te hesaplanan ankraj kuvvetleri eşyaların 1,00 metretülü için yapılmıştır. Bu eşyaların devrilmemesi için gerekli olan toplam ankraj sayısı, eşyanın metre cinsinden uzunluğu ile hesaplanan ankraj sayısı çarpılarak bulunabilmektedir. Dinamik çarpma etkilerinden dolayı gerekli dübel sayısının 1 adet bulunması durumunda en az 2 adet dübel kullanılması önerilir. Ayrıca, dübeller eşit ve düzgün aralıklar ile eşya boyunca tepesinden sıralı bir şekilde duvara tutturulmalıdır.

Tablo 5. SX kodlu genişlemeli plastik dübel taşıma kapasiteleri (SX coded expansion plastic dowel carrying capacities) [19]


Genişlemeli Plastik Dübel SX											
Yükler											
Tek bir ankraj için önerilen en yüksek yükler 1).											
Verilen yükler, belirtilen çaptaki ağaç vidaları için geçerlidir.											
Model: Genişlemeli plastik dübel SX (4 yönlü genişlemeli)	Birim	SX 4 x 20	SX 5 x 25	SX 6 x 30	SX 8 x 40	SX 10 x 50	SX 10 x 80	SX 12 x 60	SX 14 x 70	SX 16 x 80	
Ahşap vida çapı (delme çapı)	[mm]	3	4	5	6	8	8	10	12	12	
Beton minimum kenar mesafesi c_{min} (min. delik derinliği)	[mm]	20	25	35	40	50	50	65	100	120	
İlgili ana malzemede önerilen yükler $F_{rec}^{2)}$											
Beton $\geq C20/25$	[kg]	16	30	65	70	120	120	170	200	260	
Masif tuğla (harman tuğlası) $\geq Mz 12$	[kg]	11	25	30	60	65	120	70	80	90	
Masif kum-kireç tuğlası (gri) $\geq KS 12$	[kg]	17	30	50	60	120	120	170	200	260	
Gazbeton $\geq AAC 2 (G2)$	[kg]	3	3	3	4	9	20	14	30	40	
Gazbeton $\geq AAC 4 (G4)$	[kg]	7	9	9	14	30	60	45	50	60	
Düşey delikli tuğla (kırmızı) $\geq Hlz 12 (r \geq 1.0$ $kg/dm^3)$	[kg]	13	7	7	17	17	50	26	40	60	
Delikli kum-kireç tuğla $\geq KSL 12$	[kg]	15	17	30	35	30	80	35	30	40	
Alçı blok tuğla	[kg]	-	-	-	26	37	-	100	100	-	

¹⁾ Gerekli güvenlik faktörleri göz önünde bulundurulur.
²⁾ Herhangi bir açıda çekme yükü, kesme yükü ve eğik yük için geçerlidir.

Tablo 6. SX kodlu genişlemeli plastik dübele ait parametrik özellikler (Parametric properties of SX coded expansion plastic dowel)

Özellikler			
Delme Çapı (mm)	d_0	4	
Min. Delik Derinliği (mm)	h_1	25	
Dübel Uzunluğu (mm)	l	20	
Ahşap ve Sunta Vidaları (mm)	d_s	2.0 - 3.0	

Tablo 7. SX kodlu genişlemeli plastik yeşil dübelin taşıma kapasiteleri (Carrying capacities of SX coded expansion plastic green dowel) [19]

Genişlemeli Plastik Dübel SX Yeşil						
Yükler						
Tek bir ankraj için önerilen en yüksek yükler 1)						
Verilen yükler, belirtilen çaptaki ağaç vidaları için geçerlidir.						
Model: Genişlemeli plastik dübel SX (4 yönlü genişlemeli)		SX 4 x 20	SX 5 x 25	SX 6 x 30	SX 8 x 40	SX 10 x 50
Ahşap vida çapı (delme çapı)	[mm]	4	5	6	8	10
Beton minimum kenar mesafesi c_{min} (min. Delik derinliği)	[mm]	25	35	40	50	65
İlgili ana malzemede önerilen yükler $F_{rec}^{2)}$						
Beton $\geq C20/25$	[kg]	30	65	70	120	170
Masif tuğla (harman tuğlası) $\geq Mz 12$	[kg]	25	30	60	65	70
Masif kum-kireç tuğlası (gri) $\geq KS 12$	[kg]	30	50	60	120	170
Gazbeton $\geq AAC 2 (G2)$	[kg]	3	3	4	9	14
Gazbeton $\geq AAC 4 (G4)$	[kg]	9	9	14	30	45
Düşey delikli tuğla (kırmızı) $\geq Hlz 12 (r \geq 1.0$ $kg/dm^3)$	[kg]	7	7	17	17	26
Delikli kum-kireç tuğla $\geq KSL 12$	[kg]	17	30	35	30	35
Alçı blok tuğla	[kg]	-	-	26	37	100

¹⁾ Gerekli güvenlik faktörleri göz önünde bulundurulur.
²⁾ Herhangi bir açıda çekme yükü, kesme yükü ve eğik yük için geçerlidir.

Tablo 8. SX kodlu genişmeli plastik yeşil dübele ait parametrik özellikler (Parametric properties of SX coded expansion plastic green dowel) [19]

Özellikler		
Delme Çapı (mm)	d_0	5
Min. Delik Derinliği (mm)	h_1	35
Dübel Uzunluğu (mm)	l	25
Ahşap ve Sunta Vidaları (mm)	d_s	3.0 - 4.0

3. Sonuçlar ve Tartışma (Results and Discussion)

Daha önce yapılan çalışmalarda, eşyaların sabitlenmesi gerektiği ile ilgili bilgilere rastlanılmasına rağmen, eşya ebadı ve kütlesi, zemin sınıfı, deprem ivmesi, dübel cinsi ve eşyanın sabitleneceği duvar malzemesi cinsine göre bir ayırım yapılarak birçok parametreyi inceleyen bir çalışma bulunmamaktadır.

Bu çalışma, depremde binaların herhangi bir yapısal hasar almamasına rağmen, konutların içindeki eşyaların depremde yer değiştirerek ya da devrilerek zarar görmemesi için yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında depremlerde sıklıkla devrilerek can ve mal kaybına sebep olan ve bu çalışmaya esas teşkil eden üç çeşit ev eşyası seçilmiştir. 81 ilimizin, en yüksek deprem PGA değerlerine göre tablolaştırılmış ve her PGA değerinin deprem ivmesi olan SDS değeri ZA, ZB, ZC, ZD ve ZE zemin sınıfları için belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan üç adet eşya için yapılan devrilme analizleri neticesinde, eşyaların devrilmemesi için gereken ankraj kuvvetleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bu çalışma ile eşya sabitlemek için kullanılması gereken dübel sayısı, eşyaların sabitleneceği duvar malzemesinin cinsine bağlı olarak belirlenmiştir.

Bu çalışma ile ayrıca insanların yaşadıkları il ve eşya türüne göre hangi uzunlukta ve kaç adet dübel kullanarak eşyalarını sabitleyeceklerini kolaylıkla bulmaları hedeflenmiştir. Zemin sınıfının bilinmemesi durumunda ise en kötü zemin olan ZE zemin sınıfı alınabilir.

Sonuç olarak, depremde devrilme olayını engellemek amacı ile bir eşyayı sabitlemek için piyasada çok farklı standartlarda ankrajlama aparatlarının olduğu göz önüne alındığında, bu aparatların hangi duvar malzemesinde ne kadar yük taşıyabileceği bilinmediğinden bu çalışmanın en azından ev eşyalarını sabitlemek adına bir ölçüt oluşturacağı düşünülmektedir. Bu çalışma, bilinen bir dübel markasının sadece iki modeli için yapılmış olup, daha farklı marka ve modellerdeki ankraj aparatları için yapılarak araştırma genişletilebilir.

Kaynaklar (References)

- [1] Available: <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/23-kasim-2022-saridere-golyaka-duzce-depremi-mw6-0/>. [Accessed: Dece. 25, 2022].
- [2] Available: <https://duzcehurhaber.com/duzce-de-en-buyuk-hasar-dolaplarin-devrilmesi-ve-ev-esyalarinin-kirilmesi-ile-meydana-geldi-duzce-haberler/14839/>. [Accessed: Dece. 25, 2022].
- [3] Available: <https://www.aykiri.com.tr/duzce-deki-depremde-kyk-yurdundaki-dolaplar-devrildi/30271/>. [Accessed: Dece. 25, 2022].
- [4] Available: <https://financialpost.com/news/deadly-dressers-ikea-reaches-us50-million-settlement-over-malm-furniture-that-killed-3-toddlers>. [Accessed: Dece. 25, 2022].
- [5] A. Büyükkaragöz ve R. Cantürk, "Sanayi Yapılarındaki Yapısal Olmayan Elemanların Deprem Etkisi Altındaki Davranışı," *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, vol. 6, no. 2, pp. 426-435, 2018. doi:10.29109/http-gujsc-gazi-edu-tr.381946
- [6] M. Alıcı, "Deprem Unsuru Açısından Mobilya Kullanımının İncelenmesi," *Uluslararası Anadolu Sosyal Bilimler Dergisi*, vol. 3, no. 2, pp. 4-15, 2019.

- [7] Ş. E. Beşir ve Ş. Dereci, "Deprem Sırasında Konut İç Mekanlarında Yapısal Olmayan Elemanların Yarattığı Riskler ve Alınabilecek Önlemler," *International Social Mentality and Researcher Thinkers Journal*, vol. 7, no. 42, pp. 350-360, 2021. doi:10.31576/smryj.818
- [8] H. Kalaycıoğlu ve H. Aksu, U. Aras, "Mobilyalarda Uygulanan Standartlar (Emniyet, Mukavemet ve Güvenlik Gereklere)," *Selçuk Teknik Dergisi*, Özel Sayı-1, pp. 834-853, 2015.
- [9] G. Ulay ve M. S. Bekiroğlu, "Deprem Faktörünün Mobilya Kullanımı Üzerine Etkisinin İncelenmesi," *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, vol. 21, no. 1, pp. 43-54, 2016.
- [10] İ. Aktürk ve M. Albeni, "Doğal afetlerin ekonomik performans üzerine etkisi: 1999 yılında Türkiye' de meydana gelen depremler ve etkileri," *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, vol. 7, no. 1, pp. 1-18, 2002.
- [11] İSMEP, "İstanbul sismik riskin azaltılması ve acil durum hazırlık projesi, sanayi ve işyerleri için afet acil yardım planlama rehberi" İstanbul, 2009.
- [12] E. Kotil, F. Konur, H. Özgür, "The economic impact of gulf earthquake," in *International Kocaeli Earthquake Symposium*, Kocaeli, Türkiye, vol. 22, pp. 26, 2007.
- [13] FEMA 460, Seismic considerations for steel storage racks located in areas accessible to the public, "Department of Homeland Security", Washington, DC, 2006.
- [14] Y. Gümüş, "Geçmişten Geleceğe Türkiye'nin Sanayileşmesi," *Finans Politik ve Ekonomik Yorumlar*, vol. 603, pp. 113-118, 2015.
- [15] B. Öztürk, "Seismic behavior of two monumental buildings in historical Cappadocia region of Turkey," *Bulletin of Earthquake Engineering*, vol. 15, pp. 3103-3123, 2017. doi:10.1007/s10518-016-0082-6
- [16] B. Öztürk, "Seismic drift response of building structures in seismically active and near-fault regions", Ph.D. dissertation, Purdue University, 2003.
- [17] TBDY-2018, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Resmi Gazete Mükerrer:30364, Ankara, Türkiye, Mart 2018.
- [18] Available: <http://tdth.afad.gov.tr/TDTH/main.xhtml>. [Accessed: Janu. 6, 2022].
- [19] Available: <http://www.fischer.com.tr/tr-tr/products/standart-sabitlemeler/plastik-duebeller>. [Accessed: Janu. 6, 2022].

This is an open access article under the CC-BY license

